<36635406760012

Die Brückenbaukunde in ihrem ganzen Umfange.

Ein Handbuch

für Ingenieure und Baumeister.

Bearbeitet

von

H. Müller,
Baucommissair in Bremen.

Dritter Band.

Die Erbauung der steinernen Brücken enthaltend.

Leipzig,
Romberg's Verlag.

Dritte Abtheilung.

Die Erbauung der steinernen Brücken enthaltend.

Erstes Capitel.

Von den steinernen Brücken im Allgemeinen.

§. 1. Einleitung.

Wenngleich vorauszusetzen ist, daß die Verbindung zweier Ufer durch eine Brücke schon bei den ältesten Völkern üblich gewesen, nachdem dieselben die Unzulänglichkeit der Verbindung durch Schiffe oder Flöße erkannt haben mochten, so sind doch gar keine Ueberreste auf unsere Zeiten gekommen, woraus hätte entnommen werden können, daß man zu den damaligen Zeiten schon steinerne Brücken gebaut hätte. Aegypten, so wie auch Griechenland, weisen keine Brücken auf; dagegen wurden unter der Römerherrschaft viele Brücken gebaut, und zwar sowohl hölzerne als auch steinerne. Die steinernen Brücken der Römer, deren noch einige bis auf unsere Zeit gekommen, zeichneten sich aus durch starke Strebe- und Mittelpfeiler, welche durch Gewölbe nach der Halbkreisform mit einander verbunden wurden.

Unter der Gothenherrschaft wurden ebenfalls mehrere steinerne Brücken ausgeführt, die aber durch schmale Pfeiler, welche mit einander durch spitzbogenförmige Gewölbe verbunden waren, sich auszeichneten, und wovon ebenfalls noch mehrere bis auf unsere Zeit sich erhalten haben. So erbaute unter andern um das Jahr 500 der Gothenkönig Theodorich die Wasserleitung von Spoleto, welche aus 10 großen gothischen Bögen von 68 Fuß Spannweite besteht, und deren mittelste Bögen eine Höhe von über 300 Fuß haben.

Während der nunmehr folgenden unruhigen Zeiten, wo die Baukunst ihrem Verfall entgegenging und ganz darniederlag, wurde für den Brückenbau nur wenig oder gar nichts gethan. Erst im zwölften Jahrhundert fing man wieder an sich damit zu beschäftigen. Es bildeten sich Brüderschaften und fromme Gesellschaften, welche es sich zur Pflicht und Aufgabe machten, gehörige Communicationen durch Aufführung von Brücken wieder herzustellen. Die in dieser Zeit erbauten Brücken waren aber meistens den römischen Brücken nachgeahmt und die Brückengewölbe hatten ebenfalls die Form des Halbkreises. Die Pfei-

ler wurden gewöhnlich auf einen zuweilen nicht sehr tiefen Steinwurf gegründet und mußten dieselben daher auch immer sehr breit gemacht werden. Die Bögen ließ man bis in die Fundamente hinabgehen, wodurch der Fluß immer sehr eingeengt wurde. Um aber dann dem Wasser bei Anschwellungen des Flusses einen raschern Abfluß zu verschaffen, brachte man in den Brückenpfeilern sogenannte Brückenaugen oder Oeffnungen von runder, ovaler oder viereckiger Form an. Selten wendete man solche Gewölbe an, die nach Kreisbogenstücken kleiner wie der Halbkreis geformt waren. Die erste Anwendung solcher flachen Bögen zu Brückengewölben fand statt bei der Brücke Trinita zu Florenz, welche Herzog Cosmus von Medicis um das Jahr 1251 von Amanti und Frescobaldi ausführen ließ. Nach dieser Zeit findet man auch schon einzelne Fälle, wo zur Gründung der Pfeiler anstatt der bis dahin allgemein üblich gewesenen Steinwürfe, Pfahlroste angewendet wurden. Diese Fälle waren jedoch im Ganzen sehr selten.

Erst der neuern Zeit war es vorbehalten, den Brückenbau wesentlich zu verbessern, und es war hauptsächlich in Frankreich, wo seit der Errichtung des Corps der Ingenieure für den Straßen- und Brückenbau, 1720, eine neue Periode begann, indem von nun an dieses Feld des Bauwesens mehr wissenschaftlich bearbeitet wurde. Wenngleich auch bis zu dieser Zeit schon manche sehr interessante und für die damalige Zeit jedenfalls sehr kühn ausgeführte Brücken vorhanden waren, so fand doch nur eine Anwendung praktischer Grundsätze statt; eine Anwendung der mathematischen Theorien auf den Brückenbau fand aber nicht statt, und gehört diese, wenn auch noch immer mangelhaft, doch ganz dieser Periode und der neuern Zeit an.

Doch wir wollen das Historische des Brückenbaues nicht weiter verfolgen.

Die Ausführung der steinernen Brücken erfordert jedenfalls die größte Sorgfalt und Aufmerksamkeit des Baumeisters und eine genaue Bekanntschaft desselben mit der Constructionslehre. Außerdem ist aber noch erforderlich, daß der Baumeister beim Entwurf eines solchen Bauwerkes darauf Rücksicht nimmt, daß durch dasselbe später keine schädlichen Anschwellungen veranlaßt werden, die nicht allein zum größten Nachtheil des Bauwerks selbst wirken, sondern auch bedeutende Zerstörungen an den ober- und unterhalb belegenen Uferbauwerken hervorbringen können. Es ist daher bei dem Entwurfe zu einer steinernen Brücke nothwendig erforderlich, daß vorher ein genauer Plan aufgenommen werde, auf welchem auf eine bestimmte Weise die Breite des Wasserlaufes, die verschiedenen Anlandungen und Sandbänke, welche bei niedrigem Wasser noch überdeckt werden, so wie auch die Richtungen der Straßen, die sich bis an die Brücke erstrecken sollen, angezeigt sind.

Ferner hat man vorher eine genaue Untersuchung über die Beschaffenheit des Grundes der Baustelle und des Flußbettes überhaupt anzustellen, um darüber bestimmen zu können, auf welche Art die Fundirung ausgeführt werden muß und welche Vorsichtsmaßregeln zur sonstigen Sicherung des aufzuführenden Bauwerkes zu treffen sind. Endlich hat man auch noch mit vieler Sorgfalt die Wassermenge unter verschiedenen Umständen zu messen und die Höhe des Sommerwassers oder des kleinsten Wasserstandes, so wie die der größten An-

schwellungen näher zu bezeichnen. Ueber die Art und Weise, wie hydrotechnische Messungen auszuführen sind, ist schon im ersten Capitel des ersten Theils gesprochen und verweisen wir in dieser Beziehung darauf; fernere sehr lehrreiche Bemerkungen und Erfahrungen findet man in Funk's Beitägen zur allgemeinen Wasserbaukunde.

Wenngleich nun bei dem Bau hölzerner Brücken das Flußprofil durch das Einrammen der Jochpfähle ebenfalls verengert wird, so kommen dabei aber doch seltener solche Verengungen desselben vor, daß dadurch schädliche Anschwellungen entstehen, es müßte denn sein, daß man die Joche sehr nahe zusammenstellte, wodurch natürlich bei höherem Wasser eine Aufstauung hervorgebracht werden würde. Bei steinernen Brücken ist dies aber ganz anderer Art; hier müssen die einzelnen Pfeiler schon eine weit größere Dicke erhalten, so daß also auch dadurch schon die Einengungen um so viel bedeutender werden. Ferner sind hierbei aber auch alle Unterspülungen der Fundamente um so viel gefährlicher, weil einmal die Last des Brückenkörpers weit größer ist, und dann bei einer, wenn auch nur theilweisen Unterspülung gleich das ganze Bauwerk der Gefahr des Einstürzens ausgesetzt ist.

Findet aber bei hölzernen Jochbrücken auch wirklich eine theilweise Ausspülung und Unterwaschung des Grundes statt, so kann dieses zwar auch bei fernerer Sorglosigkeit gefährlich werden und einen theilweisen Einsturz der Brücke möglicherweise nach sich ziehen; allein bei einer sorgfältigen Beachtung solcher Umstände ist es bei hölzernen Brücken dennoch viel leichter, dieses unschädlich zu machen, indem man nur dafür Sorge zu tragen hat, eine fortgesetzte Ausspülung des Grundes zu verhindern, was meistentheils durch Senken von Faschinen und durch Steinwürfe zu erreichen ist. Bei steinernen Brücken ist dagegen, wie schon oben erwähnt, eine theilweise Ausspülung des Grundes schon immer sehr gefährlich und kann man, zumal wenn die Ausspülung schon unterhalb des Fundamentes stattgefunden hat, diesem Uebelstande mit so leichten Mitteln wie bei den hölzernen Brücken nicht abhelfen. Weiter unten kommen wir auf diesen Gegenstand näher zurück.

Im Allgemeinen heißt jede steinerne Brücke ein Viaduct. Ueberschreitet der Viaduct ein Wasser oder verbindet derselbe zwei gegenüber liegende Thalwände und trägt dieser Bau eine Landstraße, so heißt er insbesondere eine Brücke. Trägt ein solcher Bau aber eine Wasserstraße, so heißt er ein Aquaduct.

Die steinernen Brücken bestehen aus einem Tonnengewölbe oder aus mehreren, die sich, wenn die Brücke eine gerade ist, in paralleler Richtung an einander reihen und durch Pfeiler unterstützt werden. Steht dann die Stirnfläche des Gewölbes normal auf der Richtung seiner innern Wölbfläche, so heißt die Brücke eine gerade Brücke. Steht dagegen die Stirnfläche des Gewölbes nicht normal auf der Richtung der innern Wölbung, sondern unter einem Winkel, der kleiner wie 90 Grad ist, so heißt die Brücke eine schiefe Brücke.

Endlich hat man auch noch krumme Brücken. Derartige Brücken kommen nur bei Eisenbahnen vor und zwar an solchen Stellen, wo eine plötzliche

Abänderung der Richtung der Bahn stattfinden muß. Bei Landstraßen finden die krummen Brücken keine Anwendung, indem hierbei eine plötzliche Abänderung der Richtung ohne allen Nachtheil stattfinden kann.

§. 2. Bezeichnung der Theile einer steinernen Brücke.

Eine nähere Bezeichnung der einzelnen Theile einer steinernen Brücke ist in sofern hier nothwendig, weil dieselbe in den verschiedenen Ländern nicht immer gleich ist; und da also eine verschiedene Bezeichnung oder Benennung derselben Theile einer Brücke leicht Irrthümer hervorrufen kann, so soll hier vorab eine feste Bezeichnung aller einzelnen Theile einer steinernen Brücke angegeben werden.

In den Figuren 474 A und B, welche eine steinerne Brücke in der Ansicht, im Längen- und Querdurchschnitt und im Grundriß darstellen, sind:

A die Landpfeiler oder Widerlager, worauf die Endbogen ruhen,

B sind die Pfeiler oder Mittelpfeiler. Bei diesen unterscheidet man wieder:

a die Vorköpfe und b die Hinterköpfe.

Diese vorspringenden Körper, welche häufig nur bis zur Höhe des Hochwassers ausgeführt werden, erhalten dann Bedeckungen, welche man Mauerhaube oder Kappe nennt. Die Form einer solchen Kappe ist dann meistens pyramidalisch und richtet sich dieselbe nach der Grundform. In vorliegender Figur sind dagegen diese vorspringenden Körper (Vorköpfe) bis zur Oberkante der Brücke aufgeführt und erhalten dann die Krönung der Brücke zur Bedeckung.

C, C bezeichnet das Brückengewölbe und zwar links in der Ansicht und rechts im Durchschnitt; in den Figuren 474 A und 474 B ist dasselbe im Querschnitt und im Grundriß dargestellt.

Die auf den Pfeilern ruhenden Enden C′ C′ des Gewölbes heißen die Gewölbeschenkel.

Die keilförmigen Steine, woraus das Gewölbe zusammengesetzt wird, heißen Wölbsteine oder Gewölbesteine. Der Anfänger ist der erste Stein, womit man das Gewölbe anfängt. Der das Gewölbe schließende im höchsten Punkte oder im Scheitel desselben befindliche Stein heißt der Schlußstein.

Fugenschnitt oder Schnittriß nennt man die Formen der Wölbsteine und die von denselben im Gewölbe beim Aneinanderstoßen gebildeten Linien oder Fugen.

Der Anfänger der Bögen ruht auf einem Stein des Pfeilers, welcher Kämpfer (coussinet) heißt.

Diejenigen Bogenschichten, welche nach ihrer Versetzung mit Mörtel ohne die Unterstützung des Lehrgerüstes stehen bleiben und von den Anfängern aus etwa sich bis zu einem Centriwinkel von 35 Grad erstrecken, heißen die ruhenden Lagen.

Die in der äußern Verticalfläche liegenden Enden der Gewölbe nennt man ihre Stirnflächen, Stirnen oder Häupter.

Die untere Fläche an einem Wölbsteine heißt seine innere Wölbung; dagegen seine obere Fläche die äußere Wölbung.

Der Raum zwischen den Gewölbschenkeln und dem jedesmaligen Pfeilermauerwerk heißt der Gewölbwinkel. Desgleichen wird dieser Raum auch so genannt, wenn die Gewölbschenkel auf dem Pfeiler zusammenstoßen, also dieser nicht weiter heraufgeführt ist.

Die Ausmauerung dieser Gewölbewinkel, und zwar diejenige, welche mit der Stirnfläche der Gewölbe in einer verticalen Ebene liegt, heißt die Stirnmauer; die fernere Ausmauerung der Gewölbewinkel innerhalb der Stirnmauern heißt die Hintermauerung.

Jedes Gewölbe wird auf einem hölzernen Gerüste, dessen Oberfläche mit starken Latten, Brettern, Bohlen oder Halbhölzern verschalt ist und die Form der Wölbungslinie erhält, errichtet, und heißt ein solches Gerüst Lehrgerüst oder Gewölberüstung.

f, f, Figur 474 B, sind die Flügelmauern, welche eine Fortsetzung der Widerlager bilden. Sie können je nach den Umständen mit diesen eine gerade Linie bilden oder unter irgend einem Winkel damit zusammentreffen. Sie dienen dazu, die Widerlager zu verstärken, das Wasser leichter in den Bogen zu leiten, die Widerlager vor Unter- und Hinterspülung zu schützen und den Erddamm oder die Erdschüttung hinter denselben zu stützen.

In h Figur 474 und Figur 474 A ist die Ausfüllung von Erde und das Brückenpflaster sichtbar.

k ist das Mauerband, Kranzgesimse oder auch Krönung des Brückenhauptes.

l bezeichnet das Geländer oder die Brüstung. Dasselbe kann aus Stein oder aus eisernen Stäben oder aus Gußeisen bestehen. Ist das Geländer von Stein, so erhält es gemeiniglich einen Sockel und eine Deckleiste, ebenfalls von Stein.

Ist, um die Pfeiler gegen Unterspülung zu schützen, quer durch den Strom eine Pfahl- oder Spundwand, oder sind deren mehrere geschlagen, diese jedoch so niedrig unter dem kleinsten Wasserstande abgeschnitten, daß sie der Schifffahrt durchaus nicht hinderlich sind, so heißt eine solche Anordnung ein Sturzbett. Dieselbe kann nun auch aus einem bloßen 5—6 Fuß dicken Steinwurf bestehen.

Die Entfernung der Pfeiler von einander heißt die Spannweite Bogenweite oder Oeffnung.

Die Verticalfläche des Querschnittes der gesammten Bogen heißt der Fluthraum.

Zweites Capitel.

Bestimmung der Größe des Fluthraumes einer steinernen Brücke.

§. 3. Allgemeines.

Zu den wichtigsten und schwierigsten Forderungen beim Brückenbau gehört jedenfalls die, daß die zu erbauende Brücke später zu keiner schädlichen Anschwellung des Wasses Anlaß geben könne. Es ist daher bei Entwerfung einer Brücke über ein fließendes Gewässer jedesmal zuerst die Größe der erforderlichen Durchflußöffnung zu bestimmen, indem dann von dieser alle übrigen Abmessungen abhängig sind.

Hierbei ist aber zweierlei zu berücksichtigen; einmal muß die ganze Spannweite oder der Fluthraum nicht zu groß werden, damit das Flußbett dadurch nicht allzu seicht werde und einzelne Bögen sich versenken, während andere in Gefahr kommen, beim Hochwasser unterspült zu werden. Dann aber muß auch die Spannweite wieder so groß werden, daß dadurch beim Hochwasser kein Aufstau entstehe, wodurch nicht allein schädliche Ueberschwemmungen, sondern auch für das Gebäude selbst Gefahren herbeigeführt werden können.

Zur Bestimmung der Größe des Fluthraumes oder der Durchflußöffnung gehört nun zuerst eine genaue Kenntniß von der Wassermenge, welche durch dieselbe abgeführt werden soll. Es ist aber die Wassermenge in Flüssen und Strömen sehr veränderlich, und da es hierbei darauf ankommt, das Bauwerk so einzurichten, daß bei der größten Wassermenge durch dasselbe kein schädlicher Aufstau hervorgebracht werde, so ist natürlich, daß die größte Wassermenge auszumitteln und hiernach die Größe der Durchflußöffnung zu bestimmen ist. Kommt nämlich in jeder Zeitsecunde eine gewisse Wassermenge vor einer Brücke an, so muß diese auch unter derselben ungehindert durchgeführt werden können. Sobald nun der Querschnitt des damit angefüllten oberhalb liegenden Theils des Flußbettes durchaus nicht beschränkt ist und also das Wasser sich daselbst auf einer großen Fläche ausdehnen kann, so wird dadurch in der Geschwindigkeit des Wassers keine wesentliche Veränderung hervorgebracht werden. Gewöhnlich ist dies aber nicht der Fall und eine solche Ausdehnung des Wassers oberhalb nicht möglich, indem dasselbe zwischen hohen Ufern eingeschlossen ist. Ist dann hier die Durchflußöffnung kleiner, als der obere Querschnitt des Flußbettes, so stauet das Wasser sich oberhalb dieser Verengung auf und es entsteht durch die Vergrößerung der Druckhöhe, also durch den Aufstau, eine größere Geschwindigkeit des Wassers in diesem verengten Querschnitte.

Wird hierbei nun die Geschwindigkeit des Wassers so groß, daß dadurch von den Bestandtheilen des Grundbettes Theile mit fortgerissen werden können, so entstehen leicht Auswaschungen des Grundbettes, welche in der Regel, wenn nicht noch zeitig genug Gegenanstalten getroffen werden, den Einsturz des

ganzen Bettes zur Folge haben können. Uebertrifft ferner die Stauhöhe die der Ufer, so entstehen Ueberschwemmungen der oberhalb der Brücke belegenen Gegenden.

Ist aber im Gegentheil die Durchflußöffnung größer als der Querschnitt des Flußbettes oberhalb, so wird in demselben die Geschwindigkeit abnehmen. Wenn dies dann auch bei Hochwasser nicht nachtheilig sein möchte, so kann aber dadurch doch der Nachtheil entstehen, daß bei niedrigem Wasser die Geschwindigkeit desselben so klein wird, daß sich Ablagerungen von Kies oder Sand bilden, die bei schnellem Steigen des Wassers dieses häufig stärker aufstauen, als der Einbau selbst, was jedoch um so gefährlicher ist, wenn der Hauptstrom des Wassers durch jene Ablagerungen gegen den Einbau geleitet wird und hier am Fundamente desselben auswäscht.

Es ist daher nothwendig, daß bei Herstellung des Bauwerkes die Durchflußöffnung groß genug gelassen werde, um selbst bei den unvortheilhaftesten Wasserständen die Geschwindigkeiten des Wassers an dieser Stelle nicht bedeutend zu ändern.

§. 4. Bestimmung der abzuführenden Wassermenge.

Um die Geschwindigkeit des Stromes zu ermitteln, muß man dazu besonders solche Stellen ober- und unterhalb der Baustelle aufsuchen, wo das Bett am engsten zusammengezogen ist. Ist nicht weit ober- oder unterhalb der Stelle, wo die neue Brücke erbaut werden soll, eine andere Brücke schon vorhanden, so läßt sich der Querschnitt des durch die Oeffnung derselben strömenden Wasserkörpers für jeden Wasserstand, auch für den höchsten, wenn ein Punkt aus der Oberfläche des letztern bekannt ist, leicht ermitteln, und ist dann die Geschwindigkeit des Wassers bei dieser Höhe bekannt, so findet man auch leicht die abfließende Wassermenge. Es läßt sich dabei gleichzeitig auch untersuchen, welche Wirkungen die Geschwindigkeiten des Wassers auf dem Boden hervorbringen und zwar ob dadurch Unterspülungen verursacht werden oder nicht, wo dann im erstern Falle diese durch künstlich angewendete Mittel verhindert werden müssen. Es läßt sich auch ferner, wenn während der Ausarbeitung des Entwurfs ein höchster Wasserstand eintritt, die Geschwindigkeit des Wassers in dem aufgenommenen Querschnitt mit einem dazu passenden Instrumente unmittelbar messen und danach die abfließende Wassermenge bestimmen.

Sehr schwierig und eigentlich unmöglich ist die Ausmittelung der fraglichen Geschwindigkeit, wenn ein hoher oder höchster Wasserstand nicht in dieser Zeit stattfindet; denn aus der Geschwindigkeit bei einem niedrigen Wasserstande kann man nicht auf die bei einem höhern Wasserstande schließen, zumal auch der bei einem solchen Wasserstande vor der Brücke sich bildende Aufstau nicht bekannt ist. Für diesen Fall giebt Dietlein in der Uebersetzung des Perronet'schen Werkes folgendes Verfahren an, um die Geschwindigkeit des Wassers beim höchsten Wasserstande aus der bei niedrigem annähernd zu berechnen.

Hiernach hat man, wenn überhaupt in der Nähe der Baustelle keine Brücke

vorhanden ist, einen Querschnitt des Stromes aufzunehmen, in welchem die Ufer so beschaffen sind, daß das Wasser auch bei dem höchsten Stande innerhalb derselben bleibt; alsdann hat man in demselben die mittlere Geschwindigkeit auszumitteln und wo möglich auch zugleich das Gefälle, welches der Strom an dieser Stelle beim höchsten bekannten Wasserstande gehabt hat. Hierüber kann man bei zuverlässigen Uferbewohnern nähere Erkundigung einziehen.

Bezeichnet nun s den Quadratinhalt des unmittelbar gemessenen Querschnitts des Wasserkörpers; p den Umfang dieses Querschnitts, so weit das Wasser die Wände des Bettes berührt; α das Gefälle und λ die dazu gehörige Länge, auf welche dasselbe ganz oder wenigstens beinahe gleichförmig vertheilt sei und welche am besten zur Hälfte auf jede der beiden Seiten des gemessenen Querschnitts fällt; c die durch unmittelbare Messung ausgemittelte mittlere Geschwindigkeit in dem gedachten Querschnitte;

ferner s′, p′, λ', α', c′ dasselbe für den Querschnitt auf derselben Stelle, aber bis zum höchsten Wasserstande genommen, so findet man die mittlere Geschwindigkeit bei dem höchsten Wasserstande aus der Proportion

$$\sqrt{\frac{s}{p} \cdot \frac{\alpha}{\lambda}} : \sqrt{\frac{s'}{p'} \cdot \frac{\alpha'}{\lambda'}} = c : c'.$$

Ist nun der Quotient $\frac{\alpha'}{\lambda'}$ unbekannt, indem sich die Größe α' auf der Länge λ' nicht ermitteln läßt, so muß man in Ermangelung eines nähern Werthes für denselben, den Quotienten $\frac{\alpha}{\lambda}$ annehmen, welcher jedenfalls eine bekannte Größe ist, und man findet dann die Größe c′ aus der Proportion

$$\sqrt{\frac{s}{p}} : \sqrt{\frac{s'}{p'}} = c : c',$$

woraus sich aber die Größe c′ weniger zuverlässig ergiebt, als aus ersterer Proportion.

Ist dann aus dieser letztern oder der erstern Proportion die Größe c′ gefunden, so hat man mit dieser gefundenen mittlern Geschwindigkeit den Flächeninhalt des Querschnittes bis zum höchsten Wasserstande zu multipliciren und das Product daraus zeigt dann die Wassermenge nach Kubikfußen an, welche in jeder Zeitsecunde durch den fraglichen Querschnitt durchströmt.

Ein anderes Verfahren, um die abzuführende Wassermenge zu bestimmen, giebt Gauthey durch ein Beispiel an.

Die hölzerne Brücke zu Bonpas über die Durance sollte erbaut werden, und zwar an einer Stelle, wo die Ufer 534 Meter von einander entfernt sind. Die Breite des Flusses bei niedrigem Wasser ist nur 110 Meter und die mittlere Tiefe 1,3 Meter; dagegen steigt das hohe Wasser bis zu 3 Meter und der Querschnitt des Flusses ist dann 1530 Quadratmeter. Da es aber sehr schwierig war, die mittlere Geschwindigkeit des Flusses an dieser Stelle nur einigermaßen genau zu ermitteln, so bestimmte man dieselbe nach Beobachtungen, die ungefähr 4 Myriameter oberhalb Bonpas bei Mirabeau angestellt waren,

wo die Durance zwischen zwei senkrechten Felsen fließt, die 180 Meter von einander entfernt sind.

An dieser Stelle hatte man die Tiefe und Geschwindigkeit bei mehr oder weniger hohem Wasserstande beobachtet und gefunden:

1) daß der Fluß bei 2,44 Meter mittlerer Tiefe eine mittlere Geschwindigkeit von 1,95 Meter in der Secunde hatte;
2) bei 2,92 Meter mittlerer Tiefe betrug die mittlere Geschwindigkeit 2,44 Meter; und
3) bei einer mittlern Tiefe von 4,87 Meter, dem höchsten Wasserstande, betrug die mittlere Geschwindigkeit 4,12 Meter.

Hiernach wurde bei der letztern Geschwindigkeit in jeder Secunde eine Wassermenge von $180 . 4,87 . 4,12 = 3611,592$ Kubikmeter fortgeführt.

Da aber die Entfernung zwischen beiden angeführteu Punkten nicht bedeutend ist und zwischen denselben der Fluß nur noch einige unbedeutende Bäche aufnimmt, so ließ sich wohl annehmen, daß kein großer Unterschied in der Wassermenge an beiden Orten stattfinden könne. Dies wurde aber dennoch berücksichtigt, indem man den Unterschied annähernd bestimmte und die bei Bonpas durchströmende Wassermenge um $^1/_{16}$ größer annahm, als diejenige bei Mirabeau. Hiernach mußte also zu Bonpas ein Volumen von etwa 3838 Kubikmeter in jeder Secunde abfließen, was für den Querschnitt von 1530 Quadratmeter eine mittlere Geschwindigkeit von 2,51 Meter giebt.

Ist nun auf eine oder die andere Art die Wassermenge gefunden, welche beim höchsten Wasserstande durch die Brücke gehen muß, so kommt es zunächst darauf an, zu bestimmen, mit welcher Geschwindigkeit das Wasser unter der Brücke durchfließen soll. Diese Geschwindigkeit ist aber, wie wir gesehen haben, von der Größe der Durchflußöffnung abhängig und nimmt ab, je größer diese Durchflußöffnung wird. Wird diese Oeffnung oder die Lichtweite aber kleiner, so muß dennoch in jeder Minute durch die Brücke (oder Durchflußöffnung) eben so viel Wasser fließen, als durch jeden höherliegenden Querschnitt des Flusses in derselbeu Zeit hindurchströmt. Eine Brücke wird aber immer die natürliche Querschnittsfläche des Flusses an der Stelle, wo jene erbaut werden soll, verengen und somit einen Aufstau des Wassers hervorbringen. Mit der Zunahme der Höhe dieses Aufstaues vermehrt sich aber nicht allein der Druck des Wassers gegen die Brückenpfeiler, sondern es wird auch die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser zwischen denselben hindurchströmt größer; endlich vergrößert sich auch dadurch das Ueberschwemmungsprofil vor der Brücke. Wir haben daher vor allen Dingen auch die Stauhöhe zu bestimmen, was im nächsten Paragraphen geschehen soll.

§. 5. Die Bestimmung der Stauhöhe eines Flusses.

In Folge einer Flußverengerung erhebt sich der Wasserspiegel bis auf eine gewisse Höhe und eine gewisse Entfernung stromaufwärts, und ist es von großer Wichtigkeit, diese Stauhöhe vorher bestimmen zu können, weil einmal dadurch

die Geschwindigkeit des Wassers vergrößert wird, ferner aber auch, wie schon oben angedeutet, stromaufwärts dadurch eine Ueberschwemmung der Ufergegenden hervorgebracht werden kann.

Es haben sich damit mehrere Mathematiker beschäftigt, diese Stauhöhen nach mathematischen Formeln zu bestimmen, und wollen wir, ohne weitläufige theoretische Erklärungen darüber aufzustellen, uns einfach damit begnügen, diejenigen Formeln hier anzuführen, welche Gerstner in seinem Handbuche der Mechanik im zweiten Bande und Professor Langsdorf in seiner theoretisch praktischen Anleitung zum Brückenbau gegeben hat.

Bezeichnet b die Strombreite, a die Tiefe und c die Geschwindigkeit des Wassers in einer Secunde vor dem Einbau der Brücke; ferner β die Breite eines jeden eingebauten Brückenpfeilers und n ihre Anzahl; g die Beschleunigung des freien Falles = 15,515 österreichische Fuß, m den Zusammenziehungscoëfficienten des Wassers beim Eintritt zwischen die Pfeiler und x die gesuchte Stauhöhe, so hat man nach Gerstner die Gleichung für die Stauhöhe oder

$$\frac{2}{3}\, x \sqrt{4g.x} + a \sqrt{c^2+4g\,x} - \frac{a.b.c}{m(b-n\beta)} = 0.$$

Ferner hat man nach demselben

m = 0,856 für gerade Brückenpfeiler, und

m = 0,954 für spitze Brückenpfeiler.

Zur Anwendung dieser Formel führt derselbe folgendes Beispiel an.

Es sei die Breite b des Flusses, über welchen eine steinerne Brücke gebaut werden soll = 780 Fuß; die Brücke erhalte 5 (= n) Pfeiler von 12 (β) Fuß Breite. Die mittlere Tiefe a des Flusses sei = 6 Fuß und die Geschwindigkeit c = 4 Fuß; wird dann m = 1 gesetzt, so ist, wenn g in österreichisches Maß = 15,515 Fuß gesetzt wird, die Gleichung folgende:

$$\frac{2}{3}\, x \sqrt{62\,x} + 6 \sqrt{16+62\,x} - \frac{6.780.4}{1\,(780-5.12)} = 0,$$

oder $$\frac{2}{3}\, x \sqrt{62\,x} + 6 \sqrt{16+62\,x} - 26 = 0.$$

Hieraus läßt sich nun x bestimmen und zwar dadurch, daß man so lange Werthe für x einsetzt, bis man denjenigen Werth gefunden hat, welcher der für den besondern Fall bestehenden Bedingungsgleichung entspricht.

Setzt man nun in obiger Formel

x = 1, so ist 5,249 + 52,991 − 26 = 32,240,
für x = 0,1 erhält man 0,166 + 28,270 − 26 = 2,436,
" x = 0,5 " " 0,059 + 26,222 − 26 = 0,281,
" x = 0,437 " " 0,048 + 25,9524 − 26 = 0,0004;

es ist also hiernach die durch den Einbau der Brücke zu erwartende Stauhöhe sehr nahe x = 0,437 Fuß.

Nach Langsdorf hat man folgende Entwickelung der Formel für die Bestimmung der Stauhöhe.

Es sei M die Menge des Mittelwassers, welche der Fluß in jeder Zeitsecunde abführt und F das zugehörige Querprofil nach Quadratfußen. Das Stromprofil vom höchsten Wasserstande an dieser Stelle sei = S; die obere

Breite des Profils F sei $= b$, also seine mittlere Tiefe $\frac{F}{b} = h$. Die obere Breite des Profils S sei $= B$, also dessen mittlere Tiefe $= \frac{S}{B} = H$. Es ist dann die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Profil $F = \frac{M}{F}$.

Für die mittlere Geschwindigkeit im Profil S wird nun angenommen, wenn N die Wassermenge bezeichnet, welche in jeder Secunde durchfließt, daß $\frac{N}{S}$ gewöhnlich größer als $\frac{M}{F}\sqrt{\frac{H}{h}}$, doch selten $= \frac{M \cdot H}{F \cdot h}$ sei, und wird nun zur Sicherheit für die Ausübung die mittlere Geschwindigkeit im Profil S oder $\frac{N}{S} = \frac{M \cdot H}{F \cdot h}$ angenommen, so ergiebt sich daraus

$N = \frac{S}{F} \cdot \frac{H}{h} \cdot M$, wofür dann die Breite des Querschnitts $\frac{S}{H} = B$ ist.

Dieser Raum zum Durchflusse wird aber noch durch die Brückenpfeiler und zugleich auch durch die damit verbundene Zusammenziehung des Wassers verengt und es sei daher die noch übrige Breite zum freien Durchfluß $= \mathfrak{B}$.

Da nun vor der Erbauung der Brücke der höchste Wasserstand schon $= H$ ist, so muß nach deren Erbauung dieser Wasserstand größer als H sein und zwar sei er $= H + v$, wobei es nunmehr auf die Bestimmung von v ankommt.

Beim höchsten Wasserstande soll in jeder Secunde eine Wassermenge N abfließen, wozu ein Querschnitt von der Breite $\frac{S}{H}$ gehört. Die Wassermenge aber, welche unter gleichen Umständen durch einen Querschnitt von geringerer Breite $\mathfrak{B}$ abfließt, sei $= n$, so kann man schließen

$$N : n = \frac{S}{H} : \mathfrak{B} \text{ und hieraus}$$

erhält man alsdann
$$n = \frac{\mathfrak{B} \cdot H \cdot N}{S}.$$

Es bezeichne nun die Linie $\alpha\beta\gamma\delta$ Figur 475 die Oberfläche des Wassers bei dem höchsten Wasserstande vor Anlegung der Brücke, so wird dasselbe nach dem Bau jedenfalls auf eine größere Höhe bis $\varepsilon\eta = v$ steigen und wird der Querschnitt oberhalb der Brücke um eine Fläche $\varepsilon\eta\frac{S}{H}$ zunehmen, wofür aber zum Abfluß nur die Fläche $\mathfrak{B}v$ in Betracht kommt.

Unter Anwendung des bekannten Gesetzes für die Geschwindigkeit frei fallender Körper würde nun die mittlere Geschwindigkeit, womit das Wasser von $\beta\eta$ nach γ hinabfließen könnte $= \frac{4}{3}\sqrt{15{,}1 \cdot v}$ (in Pariser Fußen) sein. Allein das Wasser kann dieser Bewegung nicht frei folgen und es ist auch zu berücksichtigen, daß dasselbe längs $\alpha\beta$ schon auf bewegter Fläche fließt, weshalb diese Größe nur $= \sqrt{15 \cdot v}$ angenommen wird.

Bei dieser Annahme ist nun die in der Höhe $\beta\eta$ in jeder Secunde abfließende Wassermenge $= \mathfrak{B}\, v \sqrt{15 . v}$ und somit die gesammte in der Höhe $x\eta$ durchfließende Wassermenge in jeder Secunde

$$= n + \mathfrak{B}\, v \sqrt{15 . v} = \frac{\mathfrak{B} . H . N}{S} + \mathfrak{B}\, v \sqrt{15 . v}.$$

Da aber nach Anlegung der Brücke dieselbe Wassermenge muß abfließen können, welche vorher bei den höchsten Fluthen abfloß, so muß

$$N = \frac{\mathfrak{B} . H . N}{S} + \mathfrak{B}\, v \sqrt{15 . v} \text{ sein.}$$

Hieraus erhält man dann nach der Entwickelung

$$v = \sqrt[3]{\frac{\left(1 - \frac{\mathfrak{B} H}{S}\right)^2 N^2}{15\, \mathfrak{B}^2}} \text{ (in Pariser Fußen).}$$

Wegen der Zusammenziehung des Wassers beim Abfluß durch die Brückenöffnungen geht noch ein gewisser aliquoter Theil von b verloren, der höchstens $= 1/_{20}$ anzunehmen ist, und wodurch, wenn man denselben mit m bezeichnet, obige Gleichung für v umgewandelt werden würde in

$$v = \sqrt[3]{\frac{\left(1 - \frac{(1-m)\, \mathfrak{B} . H}{S}\right)^2 N^2}{15\, (1-m)\, \mathfrak{B}^2}}.$$

Da aber die Kubikwurzel dadurch keine merkliche Aenderung erleidet, so kann man diesen aliquoten Theil ganz unberücksichtigt lassen und den Werth

$$v = \sqrt[3]{\frac{\left(1 - \frac{\mathfrak{B} H}{S}\right)^2 N^2}{15\, \mathfrak{B}^2}}$$

als giltig annehmen.

Dieser Werth von v kann aber auch nach rheinländischem Maße genommen werden, da derselbe ohnehin nur annähernd ist und jedenfalls ein größeres Resultat liefert, als obige Formel von Gerstner und daher für die Ausführung immer eine größere Sicherheit gewährt.

Die Entfernung dieser Stauung oder desjenigen Querschnitts von der Brücke, wo das Wasser unter merklich größerem Abhange abzufließen anfängt, läßt sich nach Langsdorf mit ziemlicher Sicherheit annehmen

$$= \left(1 - \frac{\mathfrak{B} H}{S}\right) 2 \mathfrak{B}.$$

Eine zweite ebenfalls sehr wichtige Frage, nämlich: wie weit sich die Aufstauung rückwärts verbreiten werde, hat Langsdorf entwickelt und giebt derselbe zur Berechnung der Länge der durch die Brücke entstehenden Rückstauung die Formel

$$L = \frac{\lambda\, v\, (h + v)^2}{\alpha\, ([h + v]^2 - h)},$$

worin L die Länge der Rückstauung, α den Abhang auf die Länge λ, h die

mittlere Wassertiefe in der Gegend der Brücke vor ihrer Erbauung und v den oben entwickelten Werth für die Größe der Aufstauung bezeichnet.

Nach dieser Langsdorf'schen Formel sollen nun einige Zahlenbeispiele angegeben werden, woraus zu ersehen ist, wie v wächst, wenn die Geschwindigkeiten und die Tiefen zunehmen oder die Breiten B abnehmen.

Es sei zu dem Ende B = 200′; B = 150′; H = 5′; die Geschwindigkeit g = 1′; also BH = S = 1000 und S . g = N = 1000; man findet alsdann nach obiger Formel

für g = 1′,	also N = 1000	Kubikfuß, die Stauhöhe	v = 0,57′;
" g = 2′,	" N = 2000	" " "	v = 0,9048′;
" g = 3′,	" N = 3000	" " "	v = 1,185′;
" g = 4′,	" N = 4000	" " "	v = 1,436′;

u. s. w.

Vermindert man nun B und bleiben die übrigen Größen beibehalten, so erhält man, wenn g = 1 bleibt

für B = 125′	die Stauhöhe	v = 0,8434′;
" B = 100′	" "	v = 1,4938′;
" B = 75′	" "	v = 1,6666′;

u. s. w.

Vergrößert man nun endlich die Tiefen unter Beibehaltung der übrigen Größen, so ist

für H = 5′	die Stauhöhe	v = 0,570′;
" H = 6′	" "	v = 0,642′;
" H = 7′	" "	v = 0,711′;
" H = 10′	" "	v = 0,905′;

u. s. w.

Bestimmt man nach der Langsdorf'schen Formel zu dem bei der Gerstner'schen Formel gegebenen Zahlenbeispiel die Stauhöhe, welche dort mit x bezeichnet ist, so ergiebt sich diese hiernach = 0,64′, anstatt selbige oben 0,437′ erhalten wurde. Es geht daraus also hervor, daß die Langsdorf'sche Formel bei der Ausführung jedenfalls größere Sicherheit gewährt, als die Gerstner'sche Formel; auch hat die erstere den Vortheil der bequemern Berechnung.

Aus der Formel $v = \sqrt[3]{\frac{\left(1-\frac{\mathfrak{B}H}{S}\right)^2 . N^2}{15\,\mathfrak{B}^2}}$ läßt sich nun, wenn die Größe B gegeben oder bestimmt ist, der durch die Verengung des Flußbettes bewirkte Aufstau finden.

Eben so läßt sich aber auch aus dem Ausdruck

$$15\,\mathfrak{B}^2 = \frac{(1-\mathfrak{B}\,H)^2 . N^2}{v^3}$$

die zu dem gegebenen Aufstau erforderliche Breite B finden.

Meistentheils ist jedoch die Breite der Durchflußöffnungen wegen örtlicher Umstände, z. B. wegen am Flusse liegender Häuser oder Straßen gegeben und kann diese Breite nicht überschritten werden; es müssen aber dann die Ufer

mit hinlänglich starken, bis über die Stauhöhe reichenden Deichen oder sonstigen Schutzwerken versehen werden, damit die anliegenden Grundstücke nicht einer Ueberschwemmung ausgesetzt sind.

Von der gegebenen oder auch von der gefundenen Breite der Durchflußöffnung ist, wie wir oben gesehen haben, die Geschwindigkeit des Wassers unter der Brücke abhängig und frägt es sich dann nur noch, ob die durch die Einengung der Durchflußöffnung hervorgebrachte Geschwindigkeit nicht größer wird, als die größte Geschwindigkeit des Wassers in demselben Flusse, bei welcher aber das Grundbett noch nicht angegriffen wird. Wird die Geschwindigkeit größer und stehen somit Ausspülungen des Grundbettes zu befürchten, so muß man Anordnungen treffen, wodurch ein solches Ausspülen des Grundes verhindert wird, wovon aber weiter unten die Rede sein soll.

Eine sehr einfache Formel, um die mittlere Geschwindigkeit in dem verengten Flußbette zu finden, giebt Mahan in seinem Lehrbuche der Wissenschaften des Civilingenieurs an.

Bezeichnet nämlich V die mittlere Geschwindigkeit im natürlichen Flußbette, v die mittlere Geschwindigkeit im verengten Flußbette, S den Querschnitt des natürlichen und s den Querschnitt des verengten Flußbettes, so ist

$$v = m \cdot \frac{S}{s} \cdot V,$$

wo m einen Coëfficienten bezeichnet, der nach zahlreichen Beobachtungen im Mittel zu 1,097 angenommen werden kann.

Nach dem Bisherigen läßt sich nunmehr die erforderliche Weite einer Durchflußöffnung, so wie die davon abhängige Stauhöhe bestimmen; es muß aber der Einsicht des Baumeistes dennoch immer überlassen bleiben, in wiefern er die eine oder die andere Größe als bestimmt gegeben annimmt. Ist der Fluß z. B. zwischen hohen und geraden Ufern eingeschlossen, so hängt es nicht allein von der Geschwindigkeit des Wassers, sondern auch von manchen Localumständen ab, ob und wieviel man seine Breite einschränken muß, um darin sich vorfindende seichte Stellen zu verbessern, oder ob jede Beschränkung unterbleiben muß, selbst die durch die Brückenpfeiler entstehende.

Bei flachen Ufern, welche bei Hochwasser überschwemmt werden und wo man gar mit todten Inundationsprofilen zu thun hat, ist die Geschwindigkeit des Wassers nur immer sehr gering und kann man daher hier die Breite nicht selten sehr bedeutend beschränken. Sind die flachen Ufer krumm und überhaupt das Flußbett ganz irregulär, so sind, zumal wenn die Geschwindigkeit nicht unbedeutend ist, die Erscheinungen verwickelter und darf man dann die Durchflußöffnung nicht allzu sehr beschränken, weil sich wegen der irregulären überschwemmten Ufer nicht genau ermitteln läßt, wie weit die Stauung sich oberhalb erstrecken werde, was jedoch immer, namentlich wenn die Brückenstelle mit Häusern umgeben ist, eine Hauptsache mit ist. Da aber unter solchen Umständen sich auch nicht die abzuführende Wassermenge genau bestimmen läßt und überhaupt dann die in diesem Paragraphen angeführten Formeln nicht mit Sicherheit anzuwenden sind, so ist es jedenfalls am zweckmäßigsten, die Durchflußöffnungen derjenigen Brücken zu untersuchen, welche an demselben Flusse

oberhalb der zu erbauenden Brücke sich befinden und hier die verschiedenen Wirkungen, welche durch den Aufstau und durch die vergrößerte Geschwindigkeit auf den Grund und Boden entstehen, zu beobachten. Findet man aber keine derartigen Bauwerke, so sucht man ober- oder unterhalb der Brückenstelle einen regulären Flußbezirk, der sich auch beinahe immer findet, wo sich die abzuführende Wassermenge ermitteln läßt. Hiernach und unter gehöriger Berücksichtigung der sonstigen Localumstände sucht man dann eine angemessene Brückenöffnung auszumitteln.

Steht an der Brückenstelle schon eine alte Brücke, welche abgebrochen werden soll, oder hat daselbst eine solche gestanden, so läßt sich ohne Schwierigkeit eine zweckmäßige Oeffnung ermitteln, wenn man die stattgefundenen Stauungen mit den früher vorhandenen Brückenöffnungen vergleicht.

Ist aber der Aufstau allzu groß, wie dies in gebirgigen Gegenden sehr häufig vorkommt, wo bei Anschwellungen die Flüsse mit außerordentlicher Geschwindigkeit fließen, so kann man sich, zumal wenn das Flußbett unregelmäßig ist, auf eine solche gemischte Theorie durchaus nicht verlassen und ist es in solchen Fällen am angemessensten, daß man die Durchflußöffnungen so groß macht, als es nur eben thunlich ist und die Beschaffenheit der zu verwendenden Materialien zuläßt.

Drittes Capitel.

Von der Form und Größe der Bögen.

---

§. 6. Allgemeines.

Nachdem wir im vorigen Paragraphen die absolute Weite und Höhe der Durchflußöffnung angegeben haben, in sofern diese durch das Verhalten des beinahe bei jedem Brückenbau aufzustauenden Wassers bestimmt wird, haben wir nunmehr die Zahl der Bögen, so wie die Form und Größe derselben festzustellen.

Als allgemeine Regel nimmt man, sobald die Spannweite so groß ist, daß ein einziger Bogen nicht ausreicht, eine ungerade Anzahl von Bögen an. Von dieser Regel finden aber nicht selten Ausnahmen statt, die durch örtliche Umstände veranlaßt werden können; eben so ist auch nicht immer die Spannweite so groß, daß man drei oder fünf Bögen anwenden kann; oder es kann auch der Umstand in Betracht kommen, daß der Fluß nicht durch eine größere Anzahl von Pfeilern in seiner Breite beschränkt werden darf, wodurch man dann schon gezwungen ist, so wenig Mittelpfeiler als möglich anzulegen. Es kann daher niemals als feste Regel angenommen werden, die Brücke immer aus

einer ungeraden Anzahl von Bögen herzustellen, sondern es richtet sich dies nach den obwaltenden Umständen, wodurch aber nicht selten Abweichungen von dieser Regel veranlaßt werden, was dann gewöhnlich auf Kosten des architektonischen Effects geschieht.

Was die Größe der Bögen betrifft, so hängt diese einmal von örtlichen Umständen ab, ferner aber auch von der Wahl des Baumaterials, welches zu der neu aufzuführenden Brücke verwendet werden soll. Für Flüsse, die keine bedeutenden Hochwasser haben und keine Eisgänge mit sich führen, genügen kleinere Bögen, welche bei gleicher Brückenlänge weniger kostspielig sind als die großen Bögen, sofern die Beschaffenheit des Bodens der Art ist, daß die Fundation einer größern Anzahl von Mittelpfeilern nicht einen noch größern Kostenaufwand herbeiführen würde. Solche Flüsse aber, die nicht allein eine größere Stromgeschwindigkeit haben, sondern auch zeitweiligen bedeutenden Anschwellungen und Eisgängen ausgesetzt sind, darf man nicht durch eine große Anzahl von Mittelpfeilern einengen, sondern muß in solchen Fällen die Bögen möglichst groß anordnen, damit einmal die Eisschollen oder andere schwimmende Körper nicht durch die Pfeiler aufgehalten werden und ferner auch beim Hochwasser keine zu bedeutende Aufstauung entstehe, was immer nur zum größten Nachtheil des Bauwerkes und seiner Fundamente stattfinden würde. Außerdem würde auch in solchen Fällen die Fundirung einer größern Anzahl Mittelpfeiler nicht allein einen größern Kostenaufwand erforderlich machen, sondern auch mit weit mehr Schwierigkeiten verbunden sein.

§. 7. Von der Form der Bögen.

Was die Form der Bögen betrifft, so kann diese sehr mannigfach sein und hängt sie vorzüglich von der Weite und Höhe ab, welche man den Bögen zu geben beabsichtigt. Die Höhe der Bögen ist aber wieder abhängig, einmal von der Höhe der Ufer, welche durch eine Brücke verbunden werden sollen, anderntheils aber auch von der Höhe der Anschwellung des Flusses. Sind die Ufer nur flach und gestatten sie keine Fortsetzung der Brückenstraße, so ist zu überlegen, ob und wie viel der zur Brücke führende Damm erhöht werden darf, wobei natürlich Rücksicht auf die in unmittelbarer Nähe liegenden Straßen und Gebäude genommen werden muß. Ferner ist aber, wie schon erwähnt, die Höhe der Bögen auch von der Höhe der Anschwellungen abhängig. In allen Fällen muß daher die Höhe der Bögen so groß angenommen werden, daß der Scheitel der innern Gewölbefläche nie vom Wasser erreicht werde. Im vorigen Capitel wurde die Stauhöhe $H + v$ bestimmt und sollte man eigentlich immer bei flachen Bögen die Anfänge derselben auf eine Höhe $= H + v$ setzen. Bei Halbkreisbögen ist solches aber nicht anwendbar, denn dadurch würde die Brücke, namentlich bei flachen Ufern, eine zu bedeutende Höhe erhalten, weshalb man hier die Anfänge der Bögen auf eine Höhe gleich $^2/_3$ bis höchstens $^1/_2$ von $H + v$ festsetzen sollte. Hieraus geht nun hervor, daß man die Höhe der Brückenbögen in jedem Falle als gegeben ansehen kann, indem sie sowohl von

der Höhe der Ufer als auch von der Stauhöhe abhängig sein kann. Hinsichtlich der Weite, so ist diese auch als gegeben anzusehen, indem sie nach dem Vorhergehenden durchaus nicht willkürlich angenommen werden kann.

Die einfachste Form der Brückenbögen ist die Halbkreisform. Diese Form der Wölbung ist in sofern sehr zweckmäßig, weil sie sich am leichtesten ausführen läßt und zugleich die festeste ist. Sie gestattet aber, sobald die Ufer nicht so hoch sind, nur geringe Spannweiten und erfordert demnach viele Pfeiler, wodurch aber der Fluß bedeutend eingeengt wird. Außerdem treten auch die Bogenanfänge zu tief hinab, wodurch dann das Mauerwerk der Pfeiler noch verbreitert und somit die Durchflußöffnung nur noch mehr verengt wird, und zwar um so mehr, je höher das Wasser anschwillt. Diese Nachtheile, verbunden mit dem größern Kostenaufwande, welchen die Gründung einer größern Anzahl von Pfeilern nothwendig macht, verhindern die Anwendung der Halbkreisbögen sehr häufig. Die alten Brückenbaumeister machten bei Erbauung großer Brücken zwar eine häufige Anwendung von den Halbkreisbögen, sie fühlten aber selbst das Nachtheilige dieser Construction und halfen sich dann dadurch, daß sie die Pfeiler nur bis zu den Anfängen der Bögen aufführten und darüber dann zwischen den Gewölbeschenkeln große Oeffnungen anbrachten, die entweder kreisförmig rund, oval oder auch geradlinig mit einem Gewölbe geschlossen waren. Diese Oeffnungen nannte man Brückenaugen und sie dienten dazu, das sich vor den breiten Pfeilern aufstauende Wasser mit abzuführen. Sie beabsichtigten also dadurch in einer gewissen Höhe eine Verbreiterung der Durchflußöffnung. Daß diese Brückenaugen aber in der fraglichen Hinsicht dem beabsichtigten Zwecke nur sehr wenig entsprachen, ist leicht einzusehen; denn sollten sie von einiger Wirkung sein, so mußten sie schon eine bedeutende Größe erhalten. Dieses konnte aber wieder nur bei einer unmäßigen Dicke der Pfeiler stattfinden. Der Vortheil, der durch eine solche Vergrößerung der Brückenaugen erreicht wurde, ging also wieder vielfach verloren durch die nothwendig vergrößerte Stärke der Pfeiler. In Figur 476 ist dieses näher dargestellt.

Uebrigens hat man diese Brückenaugen auch zu andern Zwecken angewendet und zwar, wie wir unten sehen werden, hauptsächlich dazu, um die Gewölbeschenkel von einander zu spannen, ohne daß die Bögen dadurch zu sehr belastet werden.

Eine andere Form der Brückenbögen, die jedoch im Ganzen nur wenig Anwendung gefunden hat, ist die der gothischen Bögen. Diese Form von Bögen erfordert weit schwächere Pfeiler und Widerlager als die Halbkreisbögen; wegen ihrer größern Höhe eignen sie sich aber hauptsächlich nur für hohe Ufer, wo dann durch die geringern Abmessungen der Pfeiler sehr bedeutend an Material gespart werden kann. Allein trotz dieser Ersparung an Material ist diese Form doch nicht zweckmäßig, indem die Spannweite nicht bedeutend werden kann und man daher wieder eine größere Anzahl von Mittelpfeilern nöthig haben würde, was jedoch, wenn der Fluß, in welchem diese Mittelpfeiler gebaut werden sollen, eine nicht unbedeutende Tiefe und Geschwindigkeit hat, einen besondern Aufwand von Kosten verursacht, der aber durchaus

nicht im Verhältniß zu der Ersparung stehen würde, die möglicher Weise durch die Ausführung kleinerer Gewölbe erzielt werden möchte.

Die Nachtheile, welche die Halbkreisbögen mit sich führen, mag man schon früher erkannt haben und man hat daher auch nicht selten in frühern Zeiten statt der vollen Halbkreise, Kreisbogenstücke von großem Halbmesser zur Ueberspannung größerer Flüsse angewendet. Die Kreisbogenstücke zu Brückengewölben angewendet verdienen jedenfalls den Vorzug vor den bisher benannten krummen Linien, indem die nach einem solchen Kreisstücke gebildeten Gewölbebögen ihren Anfang in der Höhe der Hochgewässer und manchmal selbst noch etwas über denselben haben können, was für den Durchfluß zur Zeit der Hochgewässer jedenfalls ein sehr günstiger Umstand ist. Außerdem erspart man auch bedentend an Material (s. Fig. 477). Man hat derartige Bögen sehr flach angeordnet und bei einigen Brücken das Verhältniß des Pfeils zur Spannung wie 1 : 12 und sogar wie 1 : 17 angenommen, und zwar bei Bögen von 50 Fuß Spannweite und darüber. Allein dies ist immer ein sehr großes Wagestück, auch selbst bei der sorgfältigsten Ausführung; denn je flacher ein Bogen werden und je weiter er spannen soll, desto fester muß das Material sein, aus welchem die Wölbsteine hergestellt werden, um dem Zerdrücken widerstehen zu können. Es kommt also dann nicht mehr allein auf eine sorgfältige Ausführung, sondern auch im hohen Grade auf die rückwirkende Festigkeit der Steine an. Aber selbst bei der sorgfältigsten Arbeit ist es nicht zu erreichen, daß die Berührungs- oder Lagerflächen der Wölbsteine nicht zuweilen einige, wenn auch nur sehr gering hervorragende Stellen behalten, so daß der Stein nicht mit seiner Fläche durchaus voll aufliegt. Solche Stellen erhalten alsdann einen sehr bedeutenden Druck und nicht selten einen größern Druck, als die rückwirkende Festigkeit des Steines selbst beträgt, woher es sich dann ereignet, daß ein solcher Stein zersprengt wird. Es ist Thatsache, daß solches schon mehrfach vorgekommen ist und den Einsturz von Bögen herbeigeführt hat. Will man daher von diesen Kreisstücken bei Gewölben Anwendung machen, so wird man sehr wohl thun, nicht weniger als $^1/_8$ der Spannweite zur Bogenhöhe zu nehmen. Bei den meisten Anwendungen von Kreisstücken zu Brückenbögen wechseln die größten Ordinaten von $^1/_4$ bis $^1/_8$ der Spannweite ab. Bei der von Lamandé im Jahre 1810 zu Paris erbauten Brücke der Invaliden ist das Verhältniß des Pfeiles zur Spannung wie 1 : 8,46.

Um bei gegebener Höhe eine möglichst große Durchflußöffnung zu erhalten, hat man sich vielfach der verdrückten Bögen bedient und namentlich bei größern Spannweiten. Sehr wenig ist aber die reine Ellipse zur Anwendung gekommen, trotzdem daß sie die schönste der verdrückten Curven ist und auch eine bedeutende Capacität giebt. Allein ihrer Verzeichnung im Großen stehen viele Schwierigkeiten im Wege und ist, da sie aus zwei Brennpunkten geschlagen werden muß, eine richtige Verzeichnung derselben auf diese Art wohl nicht möglich, sondern es müssen die einzelnen Punkte der Ellipse durch Auftragen von Abscissen und Ordinaten bestimmt werden. Um aber diesen Schwierigkeiten zu entgehen, da überdies eine richtige Verzeichnung der Linie im Großen doch

immer sehr problematisch ist, so haben die Baumeister eine andere Linie aus der Klasse der Evoluten gewählt und sehr häufig zu Brückenbögen angewendet. Es ist dieses die Korblinie, welche im folgenden Paragraphen näher beschrieben werden soll.

§. 8. Von der Korblinie.

Wenn die Weite und Höhe eines Gewölbes gegeben sind, so kann man die Curve aus drei oder einer beliebig großen ungeraden Anzahl von Mittelpunkten beschreiben, nur hat man dabei folgende allgemeine Bedingungen zu erfüllen.

Damit eine geschlossene Curve entsteht (wenn man sich die andere Hälfte der Curve hinzudenkt) müssen:

1) sämmtliche Kreisbögen, woraus die Curve zusammengesetzt ist, die Summe von 360 Grad ausmachen;
2) die Mittelpunkte je zweier Bögen, welche zusammenstoßen, müssen in einer und derselben geraden Linie liegen.

Aus diesen allgemeinen Bedingungen geht aber leicht hervor, daß eine Curve aus mehr als drei Kreisbogen zusammenzusetzen, eine ganz unbestimmte Aufgabe ist, die eine große Anzahl von Auflösungen haben kann. Soll daher eine solche Curve gezeichnet werden, so ist es nicht genügend, die Höhe des ganzen Bogens und seinen Durchmesser, so wie die Anzahl der Bögen zu kennen, aus welchen die Curve zusammengesetzt werden soll, sondern man muß auch wissen, ob diese einzelnen Bögen, selbst bei den verschiedenen Halbmessern gleiche Centriwinkel, also gleich viel Grade haben sollen oder nicht, und in welchem Verhältniß in letzterem Falle die Anzahl der Grade stehen solle.

Es sollen hier nun mehrere Beispiele angeführt werden, wie solche Linien zweckmäßig verzeichnet und berechnet werden können.

In Figur 478 ist eine Curve aus drei Mittelpunkten verzeichnet und zwar folgendermaßen.

Die Weite ab und die Höhe cd der Curve sind gegeben. Man errichte in der Mitte von ab in c eine Normale gleich der gegebenen Höhe cd, ziehe alsdann die Linie ad und mache auch derselben $de = ac - cd$. Nun theile man ae in zwei gleiche Theile und errichte im Mittelpunkte m eine senkrechte Linie auf ae, verlängere diese bis zu den Durchschnittspunkten n und p mit der Linie ab und der Verlängerung von dc; macht man alsdann $cr = cn$, so sind n, r, p die Mittelpunkte für die drei Kreisbögen der Korblinie.

Bei größern Bögen ist aber die Bestimmung der Mittelpunkte durch Zeichnung immer sehr schwierig, und muß man diese daher durch Berechnung suchen. Es sei zu dem Ende $an = br = y$ und $dp = x$; ferner sei $ac = a$, $cd = b$, und $ad = \sqrt{a^2+b^2} = c$, so hat man

$$da : ac = np : pc \text{ oder } c : a = x - y : x - b;$$

und ferner $$da : cd = np : nc \text{ oder } c : b = x - y : a - y;$$

oder $$cx - cb = ax - ay,$$
und $$ac - cy = bx - by,$$
oder $$(c-a)x = bc - ay, \text{ und hieraus } x = \frac{bc - ay}{c-a};$$
also $$ac - cy = b.\frac{bc - ay}{c-a} - by,$$
oder $$ac^2 - c^2y - a^2c + acy = b^2c - bay - bcy + aby,$$
oder $$c(a+b-c)y = (a^2+b^2-ac)c,$$
und hieraus $$y = \frac{a^2+b^2-ac}{a+b-c}.$$

Ferner findet man nun leicht aus der Entwickelung

$$x = \frac{a^2+b^2-bc}{a+b-c}.$$

Ist nun z. B. $a = 24'$, $b = 18'$, so ist $c = \sqrt{24^2+18^2} = 30'$, mithin findet man $y = 15'$ und $x = 30'$.

Will man nun ferner die Größe der Winkel und die Länge der Bögen finden, so hat man, da nunmehr die Größen x und y bekannt sind,

$$np \operatorname{Sin} \alpha = nc \text{ oder } \operatorname{Sin} \alpha = ac - an = a - \frac{a^2+b^2-ac}{a+b-c}$$

oder $$\operatorname{Sin} \alpha = b\,\frac{(a-b)}{a+b-c}.$$

Den Winkel β erhält man $= 90 - \alpha$.

Die Größe der Bögen erhält man dann, oder

$$axdzp = 2\pi\left(2\,dp.\frac{\alpha}{360} + 2na\,\frac{\beta}{360}\right) = 2\pi\left(dp\,\frac{\alpha}{180} + na\,\frac{\beta}{180}\right).$$

Diese eben beschriebene Curve hat eine möglichst gleiche Krümmung, was durch Folgendes näher bewiesen wird.

Da jede aus mehrern Kreisbögen zusammengesetzte Curve die Krümmung einer halben Ellipse auf ihrer großen Achse nachahmen soll und bekannt ist, daß die Tangente der Ellipse an den Endpunkten ihrer Achsen normal auf diesen steht, so folgt daraus leicht, daß die Mittelpunkte der äußern Bögen ax und bz nothwendig in der Weite des Gewölbes liegen müssen. Eben so folgt auch, daß der Mittelpunkt des mittlern Bogens xdz in der Verlängerung der Linie dc liegen muß. Da ferner die Bögen, wo sie zusammenstoßen, keine Ecken bilden dürfen, so folgt daraus, daß der Mittelpunkt jedes äußern Bogens mit demjenigen des innern Bogens in einer geraden Linie liegen muß, wo dann die zusammenstoßenden Bögen ebenfalls in dieser Linie zusammentreffen und also jedesmal eine gemeinschaftliche Tangente haben.

Behält man nun obige Bezeichnung bei, so ist

$$cn = a - y;\ cp = x - b;\ pn = xy.$$

Wegen des rechtwinkligen Dreiecks cnp hat man nun

$$(x-y)^2 = (a-y)^2 + (x-b)^2,$$
$$\text{oder } x^2+y^2-2xy = a^2+y^2-2ay+x^2+b^2-2bx$$
$$\text{oder } 2bx - 2xy = a^2+b^2-2ay.$$

Diese Gleichung zwischen den beiden Halbmessern x und y zeigt nun, daß wenn man einen von beiden kennt, der andere auch leicht gefunden werden kann.

Soll dann aber die Krümmung eine möglichst gleiche werden, so ist auch natürlich, daß die Differenz beider Halbmesser eine kleinmöglichste sein muß.

Aus der obigen Gleichung erfährt man nun leicht

$$x = \frac{a^2 + b^2 - 2ay}{2(b - y)}$$

also

$$\frac{x}{y} = \frac{a^2 + b^2 - 2ay}{2by - y^2}$$

Nach der Lehre vom Maximum und Minimum hat man

$$\delta \frac{x}{y} = \delta \frac{a^2 + b^2 + 2ay}{2by - y^2} = o$$

oder $(2by - y^2) - 2a\delta y - (a^2 + b^2 - 2ay)(2b - 4y)\delta y = o$

oder $-4aby + 4ay^2 - 2a^2b - 2b^3 + 4aby + 4a^2y + 4b^2y - 8ay^2 = o$

oder $-4ay^2 - 2a^2b - 2b^3 + 4a^2y + 4b^2y = o$

oder $-2ay^2 - a^2b - b^3 + 2a^2y + 2b^2y = o$

oder $2ay^2 - 2y(a^2 + b^2) + a^2b + b^3 = o$

oder $y^2 - \frac{y(a^2 + b^2)}{a} + \frac{a^2b + b^3}{2a} = o$

und hieraus $y = \frac{a^2 + b^2 \pm (a - b)\sqrt{a^2 + b^2}}{2a}$.

Setzt man nun diesen für y gefundenen Werth in obige Gleichung $x = \frac{a^2 + b^2 - 2ay}{2(b - y)}$, so erhält man nach erfolgter Entwickelung

$$x = \frac{a^2 + b^2 \mp (a - b)\sqrt{a^2 + b^2}}{2a}.$$

Es kommt hier nunmehr noch darauf an zu zeigen, welche Zeichen in beiden Werthen für x und y gelten. Nimmt man den Halbmesser y der äußern Bögen gleich oder größer als die Höhe b an, so ist ganz naturgemäß, daß man im ersten Falle gar keinen Halbmesser für den mittlern Bogen findet, im zweiten Falle dieser aber gar kleiner gefunden wird, als die Höhe b. Dieses darf aber nicht stattfinden, da wie schon oben angeführt, nothwendig beide Mittelpunkte nebst den Vereinigungspunkten ihrer Bögen in einer geraden Linie liegen müssen. Es muß daher nothwendig der Halbmesser des mittlern Bogens immer größer als die Höhe des Gewölbes und y immer kleiner sein. Nimmt man nun in dem Werthe von y, das Zeichen (+) im Zähler, so muß also

$$\frac{a^2 + b^2 + (a - b)\sqrt{a^2 + b^2}}{2a} \angle b \text{ sein,}$$

und daher auch $a^2 + b^2 + (a - b)\sqrt{a^2 + b^2} \angle 2ab$,

oder $a^2 + b^2 + (a^2 - ab)\sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} \angle 2ab$.

Es ist aber jedenfalls $\sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} > 1$,

folglich muß auch um so mehr $a^2 + b^2 + a^2 - ab \angle 2ab$ sein,

oder $$a^2 - 2ab + b^2 + a^2 \angle ab,$$
oder $$a^2 + (a-b)^2 \angle ab.$$
Da aber hier a immer größer als b sein muß, so ist auch $a^2 > ab$ und daher jedenfalls um so mehr $a^2 + (a-b)^2 > ab$.

Da aber die obige Annahme diesem ganz und gar widerspricht, so folgt daraus, daß der Werth von y hier nur sein kann
$$y = \frac{a^2 + b^2 - (a-b)\sqrt{a^2 + b^2}}{2a}$$
und $$x = \frac{a^2 + b^2 + (a-b)\sqrt{a^2 + b^2}}{2a}.$$

Diese Aufgabe ist hiernach also als eine bestimmte anzusehen, indem, wenn die Krümmung eine möglichst gleiche sein soll, nur das zwischen x und y hier angegebene Verhältniß stattfinden kann.

Eine andere ebenfalls bestimmte Aufgabe, eine Korblinie aus drei Mittelpunkten zu verzeichnen, ist die, wenn die drei Centriwinkel gegeben und jeder gleich 60 Grad sein soll.

In Figur 479 ist die Verzeichnung dieser Linie dargestellt. Es sei hier ab die Spannweite und cd die Höhe gegeben. Man trägt cd senkrecht auf die Mitte von ab auf, errichtet über ac ein gleichseitiges Dreieck; trägt ferner auf ce, cf = cd ab und zieht die Linie df bis zum Durchschnittspunkte g mit ae. Alsdann legt man durch g eine Linie parallel mit ce, so sind die Durchschnittspunkte h und m dieser Linie mit den Linien ab und dm die verlangten Mittelpunkte. Trägt man nun hk = ci auf die andere Seite ab, so erhält man auch den dritten Mittelpunkt.

Es giebt zwar noch verschiedene Constructionen zur Verzeichnung einer Korblinie aus 3 Mittelpunkten, welche aber hier um so mehr übergangen werden können, da die hier angegebenen Methoden in allen Fällen genügen werden.

Figur 480 zeigt die Construction zu einem Korbbogen, der aus fünf Mittelpunkten mit verschiedenen Halbmessern beschrieben ist. Die Construction ist folgender Art.

Da die Weite und Höhe des zu beschreibenden Bogens gegeben ist, so mache man ce = cd, theile ae in fünf gleiche Theile, nehme sieben dieser Theile und trage diese von c nach f und von c nach h ab; mache ferner hi = hc. Hierauf nehme man $fg = \frac{1}{3}fc$, ziehe dann durch h und f, so wie durch i und g gerade Linien, die sich in k schneiden, so sind f, k, i die drei Mittelpunkte der Kreisbögen al, lm und md.

Figur 482 zeigt eine andere Methode, eine Korblinie aus fünf Mittelpunkten zu beschreiben, wenn die Weite und die Höhe der Curven gegeben sind, und außerdem verlangt wird, daß jeder der beiden äußern Bögen 60 Grad betragen soll.

Man macht hier $ae = fb = cd - \frac{1}{15}ab$; verzeichnet alsdann mit ef das gleichseitige Dreieck efg und verlängert deren Seiten über e und f hinaus; ferner mache man $ep = fo = 2ae$; auf die nach unten verlängerte Linie dg

trage man g k = g p, ziehe dann durch k und p die Linie h m und durch k und o die Linie k n, so sind e, p, k, g und f die gesuchten Mittelpunkte.

Da nun auch hier bei der angedeuteten Construction die Mittelpunkte, aus welchen die jedesmal zusammerstoßenden Bogen beschrieben sind, in einer geraden Linie liegen, so bilden auch sämmtliche Bögen eine ununterbrochene krumme Linie ohne Knicke.

Aus der Figur geht nun noch ferner hervor, daß, da $\angle c e g = \angle a e l = 60$ Grad sein muß, und da ferner auch $\angle r p g = \angle g e c = 60$ Grad ist, daß $\angle r g p = 30$ Grad, mithin $\angle m k d = 15$ Grad und eben so auch $\angle l p m = \angle k p g = 15$ Grad ist.

Bedient man sich einer dieser Verzeichnungsmethoden, so darf, wenn eine Korblinie aus drei Mittelpunkten beschrieben werden soll, die Verdrückung nur ungefähr $^1/_3$ der Weite betragen, weil sonst die Uebergänge der einzelnen Bögen zu bemerkbar werden würden. Bei einer Verdrückung von $^1/_4$ beschreibt man daher die Korblinie schon aus 5 oder mehr Mittelpunkten und zwar kann man dann diese Curven aus 5, 7, 9, 11 oder noch mehr Mittelpunkten beschreiben.

Eine Methode, Korblinien aus 5, 7, 9 Mittelpunkten zu verzeichnen, giebt Michal an, und hat derselbe in Bezug darauf folgende Tabelle berechnet, welche die Werthe der zur Beschreibung des Bogens nöthigen Halbmesser für verschiedene Pfeilhöhen giebt. Die Werthe für die Pfeilhöhen sind hier jedesmal in der ersten Spalte angegeben, und ist die Bogenweite als Einheit angenommen.

Gedrückter Bogen mit 5 Mittelpunkten.		Gedrückter Bogen mit 7 Mittelpunkten.			Gedrückter Bogen mit 9 Mittelpunkten.			
Pfeilhöhe.	1. Halbmesser.	Pfeilhöhe.	1. Halbmesser.	2. Halbmesser.	Pfeilhöhe.	1. Halbmesser.	2. Halbmesser.	3. Halbmesser.
0,36	0,278	0,33	0,228	0,315	0,25	0,130	0,171	0,299
0,35	0,265	0,32	0,216	0,302	0,24	0,120	0,159	0,278
0,34	0,252	0,31	0,203	0,289	0,23	0,111	0,148	0,268
0,33	0,239	0,30	0,192	0,276	0,22	0,102	0,138	0,252
0,32	0,225	0,29	0,180	0,263	0,21	0,093	0,126	0,237
0,31	0,212	0,28	0,168	0,249	0,20	0,083	0,114	0,222
0,30	0,198	0,27	0,156	0,236	—	—	—	—
—	—	0,26	0,145	0,223	—	—	—	—
—	—	0,25	0,133	0,210	—	—	—	—

Das Verfahren, einen Korbbogen aus 5 Mittelpunkten zu verzeichnen, ist nun folgendes: Man beschreibe über a a, der gegebenen Weite des Bogens, einen Halbkreis (Figur 485), theile denselben durch die Halbmesser c d, c e, c e′, c d′ in 5 gleiche Theile und ziehe die Sehnen a d, d e, e b, b e′, e′ d′ und d′ a. Hierauf nimmt man den ersten Halbmesser a f gleich dem in der obigen Tabelle bezeichneten Werthe und zieht durch f die Linie g h parallel mit c d; hierauf

zieht man h i parallel mit d e und l i parallel mit b e; ferner aus dem Durchschnittspunkte i dieser beiden Linien i k parallel c e, so erhält man den zweiten Mittelpunkt g im Durchschnittspunkt der Linie i k und h g; der Durschnittspunkt k mit der Verlängerung der Linie l c ist der dritte Mittelpunkt. Die Curve auf der andern Seite von c l wird eben so beschrieben.

Bei einem gedrückten Bogen aus sieben Mittelpunkten würde man auf eine ähnliche Weise verfahren, indem man erst einen Halbkreis über die Weite des Bogens beschreibt, diesen Halbkreis dann in sieben gleiche Theile theilt, die Halbmesser und die Sehnen zieht. Man bestimmt alsdann den ersten Halbmesser wieder nach dem in obiger Tabelle angegebenen Werthe und eben so auch den zweiten Halbmesser und verfährt im Uebrigen ähnlich, wie bei Verzeichnung eines Korbbogens aus fünf Mittelpunkten.

Auf eine ganz ähnliche Weise verfährt man auch bei einem gedrückten Bogen mit neun Mittelpunkten: man bestimmt die Länge der drei ersten Halbmesser unmittelbar nach den in obiger Tabelle angegebenen Werthen.

Es sollen hier nun noch einige Verzeichnungsmethoden von Korblinien aus 11 Mittelpunkten näher angegeben werden, und wollen wir zunächst diejenige hier anführen, welche Perronet bei der Brücke von Neuilly angewendet.

Die Construction, welche in Figur 483 dargestellt ist, ist folgende:

Nachdem der halbe Durchmesser A C auf 60 Fuß bestimmt war, nahm man den Halbmesser A d des ersten Bogens $= \frac{1}{3}$ A C; theilte hierauf C d in fünfzehn gleiche Theile, und nahm d i $= 1$, i k $= 2$, k l $= 3$, l m $= 4$ und m C $= 5$ solcher Theile. Hierauf wurde C H $= 2$ A C gemacht und in fünf gleiche Theile eingetheilt. Die Theilungspunkte D, E, F, G und H wurden nun mit denen in d C durch die Linien D d I, E i K, F k L, G l M und H m N verbunden, und waren die Durchschnittspunkte e, f, g und h dieser Linien die gesuchten Mittelpunkte der Zwischenbögen. Die Punkte d und H waren anfänglich gleich dadurch bestimmt, daß der Halbmesser A d $= \frac{1}{3}$ A C und C H $= 2$ A C angenommen wurde.

Durch trigonometrische Rechnung läßt sich nun leicht die Anzahl der Grade eines jeden Bogens finden und eben so auch die Länge der Halbmesser. Folgende Linien sind hier als bekannt anzusehen: nämlich die Linien A C und C B als halber Durchmesser und Höhe der Curve; ferner ist $Ad = \frac{1}{3} AC$; $CH = 2\,AC$; $Cm = \frac{1}{3} Cd$; $ml = \frac{4}{15} Cd$; $kl = \frac{1}{5} Cd$; $ki = \frac{2}{15} Cd$; $id = \frac{1}{15} Cd$; ferner $CD = DE = EF = FG = GH = \frac{1}{5} CH$.

Nun hat man $\angle AdI = \angle CdD$;

es ist aber $Cd \tan \angle CdD = CD$,

also $\tan \angle CdD = \frac{CD}{Cd}$.

Ferner ist $\angle lek = \angle AiK - \angle CdD$,

es ist aber $\angle AiK = \angle CiE$,

und $Ci \tan CiE = CE$,

also $\tan \angle CiE = \frac{CE}{Ci}$, wo C i ebenfalls eine bekannte Größe ist.

Da nun sowohl $\angle CiE$ hieraus zu bestimmen und nach Obigem $\angle CdD$ als bekannt anzusehen ist, so läßt sich daraus leicht die Größe des Winkels JeK ermitteln.

Ferner ist $\angle KfL = \angle AKL - \angle CiE$,

$$\text{aber } \angle AKL = \angle CkF$$
$$\text{und } kC \tan \angle CkF = CF,$$
$$\text{also } \tan \angle CkF = \frac{CF}{Ck} \text{ u. s. w.}$$

Auf diese Weise lassen sich die verschiedenen Centriwinkel sämmtlich sehr leicht bestimmen. Sind dann die verschiedenen Centriwinkel hiernach bestimmt und ferner die oben angegebenen Linien ebenfalls bekannt, so lassen sich nunmehr die verschiedenen Halbmesser ebenfalls ohne besondere Schwierigkeiten durch trigonometrische Rechnungen bestimmen.

In Figur 484 ist eine Verzeichnung einer Korblinie von 11 Mittelpunkten zur Hälfte dargestellt, wo die Bogen, aus welchen dieselbe zusammengesetzt ist, in arithmetischer Progression von der Mitte gegen den Anfang zunehmen.

Die Construction dieser Curve ist folgende:

Man zeichne über AC das Parallelogramm ACDP, ziehe die Diagonale PC und beschreibe aus P mit dem Halbmesser PA den Viertelkreis AQ, welcher die Diagonale PC in o schneidet; alsdann mache man An = oQ und ziehe durch P und n eine Linie, welche die Linie AC in d und die verlängerte Linie DC in H schneidet, so sind d und H die Mittelpunkte des Endbogens und des Mittelbogens. Um die Mittelpunkte der vier Zwischenbögen zu erhalten, zieht man durch d die Linie JB parallel mit PC, welche Linie dann den ersten Kreisbogen zu dem Mittelpunkte d abschneidet und wodurch sich dieser Bogen $= 27^\circ$ ergiebt. Dieser Bogen ist nun das sechste Glied einer arithmetischen Reihe, deren erstes Glied und Differenz zu bestimmen, deren Summe aber $= 90^\circ$ ist. Das erste Glied dieser Reihe ergiebt sich hier $= 3^\circ$ und die Differenz $= 4^\circ\, 48'$; daher muß, da nun der Bogen $AJ = 27^\circ$ beträgt, der Bogen $JK = 22^\circ\, 12'$, $KL = 17^\circ\, 24'$, $LM = 12^\circ\, 36'$, $MN = 7^\circ\, 48'$, $ND = 3^\circ$ sein.

Man beschreibe nun ferner den Quadranten AR mit AC aus C, theile denselben in fünf gleiche Theile, so ist $RV = \frac{1}{5} AR = 18^\circ$, und theilt man nun RV wieder in sechs gleiche Theile, so erhält man $Rt = \frac{1}{6} RV = 3^\circ$, als erstes Glied der arithmetischen Progression. Die Differenz Vs der Reihe ist der fünfzehnte Theil von AV, also $= 4^\circ\, 48'$. Hierauf wird BH in zehn gleiche Theile getheilt und deren vier zu BE, drei zu EF, zwei zu FG und einer zu GH genommen; alsdann beschreibt man mit CR aus H einen Bogen und trägt auf denselben von 1 nach 2 die Größe Rt ab; zieht man nun die Linie H2N, so schließt diese mit der Linie HD einen Winkel von 3 Grad ein.

Ferner wird aus G mit CR ein Bogen beschrieben und auf demselben von 3 nach 4 die Summe von $2Rt + Vs$ abgetragen; zieht man dann die Linie G4M, so schließt diese Linie mit der H2N einen Winkel ein, der gleich $7^\circ\, 48'$ ist; ferner ist auch der Durchschnittspunkt g dieser beiden Linien der Mittelpunkt zu dem Bogen MN.

Aus F wird mit dem nämlichen Halbmesser ein Bogen beschrieben und darauf von 5 nach 6 die Summe 3Rt + 3Vs abgetragen und durch F und 6 die Linie F6L gezogen, welche dann mit der Linie FD einen Winkel von 23° 24′, mit der Linie G4M aber einen Winkel von 12° 36′ einschließt.

Aus E wird mit demselben Halbmesser CR ein Bogen beschrieben und darauf von 7 nach 8 die Summe 4Rt + 6Vs abgetragen; zieht man dann E8K, so schließt diese Linie mit CD einen Winkel von 40° 48′ und mit FL einen Winkel von 17° 24′ ein.

Die Linie EK schneidet die Linie BJ im Punkte e und bildet mit dieser Linie einen Winkel von 22° 12′.

Die Punkte h, g, f und e, worin sich diese eben beschriebenen Linien schneiden, sind nun die vier Mittelpunkte der Zwischenbogen.

Man hat noch verschiedene Methoden, Korblinien zu verzeichnen; allein es ist nicht der Ort hier alle diese verschiedenen Aufgaben näher anzuführen und verweisen wir in dieser Beziehung auf die Werke von Rondelet und Wiebeking.

Wenn man nun auch die Winkel und die verschiedenen Halbmesser der einzelnen Bögen nach der vorhin angegebenen Art genau zu berechnen im Stande ist, so ist es dennoch immer sehr schwierig, die Verzeichnung der Korblinie im Großen auszuführen. Stangenzirkel lassen sich zwar bis zu 70 bis 80 Fuß aus Holzstücken zusammensetzen, sie gewähren aber dann schon keine große Genauigkeit mehr und überdies ist auch der größte Radius bei solchen Bögen nicht selten noch viel größer; bei der Brücke zu Neuilly betrug dieser Radius beinahe 150 Fuß. Um daher die einzelnen Bögen ohne Zirkel richtig verzeichnen zu können, hat man zuerst die verticalen Abstände der Punkte I, K, L, M, N von der Linie AC zu bestimmen, was keiner großen Schwierigkeit unterworfen ist, da die Längen der Linien Ki, Lk, Ml, Nm aus der Berechnung der Halbmesser sich ergeben (Figur 483), und ferner die Winkel KiA, LkA, MlA, NmA sich leicht finden lassen. Eben so bestimmt man auch die zugehörigen Abscissen in Bezug auf den Anfangspunkt C. Es werden nunmehr die Punkte und zwar die Endpunkte der Bögen genau aufgetragen und ihre Sehnen gezogen. Alsdann berechnet man die Höhen dieser einzelnen Bögen, woraus sich wieder die Mitten derselben ergeben und sie halbirt werden. Jede Hälfte dieser Bögen kann wieder halbirt werden vermittelst ihrer Höhen und setzt man dieses mehrfach fort, so schafft man sich eine große Menge Punkte, nach welchen die Curve ohne große Schwierigkeit gezogen werden kann. Dieses letztere kann auch ohne Rechnung geschehen, indem es bekannt ist, daß für kleine Bögen die letztern ziemlich genau viermal so klein als die vorhergehenden sind. Perronet ließ auf diese Weise die einzelnen Bögen nach ihrer berechneten Größe auf Brettern zeichnen, hierauf ausschneiden und nach diesen Lehren die vorher bestimmten Punkte der ganzen Curve zusammenziehen. Die ersten Bögen auf jeder Seite, vom Anfang der Gewölbe an gerechnet, wurden, da dieselben keine großen Halbmesser hatten, mit Stangenzirkeln beschrieben.

Hieraus ersieht man, daß die Verzeichnung eines Korbbogens im Großen

immer mit vielen Umständen und Schwierigkeiten verknüpft ist, die aber bei bedeutenden Bauwerken weder berücksichtigt werden können noch dürfen.

Soll der Bogen noch mehr als $1/4$ verdrückt, also noch flacher werden, so wendet man nicht mehr die Korbbögen an, sondern man wählt alsdann Kreisstücke.

Zuweilen findet auch die Korblinie auf ihrer kleinen Achse stehend Anwendung und zwar hauptsächlich dann, wenn die Pfeiler sehr hoch sein müssen. Wenn nun auch in diesen Fällen das Halbkreisgewölbe eine sehr schickliche Wölbungslinie darbietet, so hat man doch Fälle gehabt, wo der Schub der Erde gegen die Widerlager und der des Gewölbes gegen den obern Theil derselben, wie ein Hebel der andern Art wirkte und die Widerlager herausgebogen wurden. Man kann nun zwar, und dies geschieht auch am häufigsten, um dem vorzubeugen, die Widerlager immer so stark machen, daß sie dem Schube des Grundes vollkommen Widerstand leisten und dann ein Halbkreisgewölbe wählen, allein diese Einrichtung ist jedenfalls dann kostbarer.

In Figur 481 ist noch die Zeichnung einer parabolenartigen Linie gegeben, die sich bei Anwendung kleinerer Bögen durch ihre leichte Ausführbarkeit zweckmäßig empfiehlt. Man verzeichnet nämlich ein Rechteck von der Weite und Höhe des Bogens, theilt dann jede Hälfte der Weite in eine willkürliche Anzahl gleicher Theile; ferner theilt man die Höhen in eben soviel gleiche Theile. Verbindet man dann die gleichliegenden Theilpunkte, wie die Figur zeigt, durch Linien, so bildet sich von selbst eine krumme Linie, von der die geraden Verbindungslinien lauter Tangenten sind. Es ist einleuchtend, daß je größer die Anzahl der gleichen Theile wird, also je mehr Theilpunkte man erhält, desto genauer die Linie wird.

Viertes Capitel.

Von den Anfängen der Bögen, von den Kuhhörnern und den Brückenaugen.

---

§. 9. Von den Anfängen der Bögen und von den Kuhhörnern.

Im vorigen Capitel haben wir die Formen der Bögen näher kennen gelernt; es bleibt nunmehr noch ein sehr wichtiger Gegenstand, nämlich die Bestimmung, in welcher Höhe die Bögen anfangen sollen, übrig.

Der Anfang eines Bogens ist derjenige Punkt, wo er sich mit dem Pfeiler vereinigt oder mit demselben zusammentrifft. Da nun von hier aus die Weite zwischen den Pfeilern durch die Aufführung des Bogens, also auch das Durch-

flußprofil noch mehr verengt wird und dieses hauptsächlich dann von Wirkung ist, wenn das Wasser bedeutend anschwillt, so ist, um dies zu verhüten, nothwendig, daß man den Bogenanfang über dem Niveau des höchsten Wassers oder wenigstens diesem gleich lege. In den wenigsten Fällen ist dies aber ausführbar, weil durch die Höhe der Ufer auch gleichzeitig die Höhe der Bögen bestimmt wird, die Ufer aber selten eine solche Höhe haben, daß der oben gestellten Anforderung genügt werden kann. Ein anderer Umstand, der aber hierbei noch sehr nachtheilig hervortritt, ist der, daß bei Eisgängen, welche immer nur bei einem höhern Wasserstande stattfinden, die durch die Bogenschenkel verbreiterten Pfeiler den ungestörten Abfluß des Eises verhindern und sehr leicht zu Eisstopfungen Anlaß geben können; oder ist dieses auch nicht der Fall, so können sie doch leicht durch gegenstoßende Eisblöcke oder durch sonstige auf der Oberfläche des Wassers schwimmende Körper beschädigt werden, was aber immer nur zum Nachtheil des ganzen Bauwerks stattfinden wird, indem die Schutzpfeiler oder Vorköpfe, in der Art wie man sie baut und bauen kann, nicht den ganzen Raum zwischen den beiden Bogenschenkeln umfassen können. Dies findet nun sowohl bei den Wölbungen mit vollen Halbkreisbögen als auch mit gedrückten Bögen statt.

Um daher diese Uebelstände, wo es nicht möglich ist sie ganz zu beseitigen, doch möglichst unschädlich zu machen, sollte man die Bogenanfänge wenigstens auf die Höhe des Mittelwassers legen und bei Halbkreisen sollte die Breite der Durchflußöffnung noch wenigstens $^3/_4$ des Durchmessers betragen. Da aber dies wegen mancher vorkommenden Localverhältnisse nicht immer, oder doch nur selten zu erreichen ist, so schneidet man, um der Wirkung dieser Verengerung bis zu einem gewissen Grade abzuhelfen, den Winkel, welchen die Stirnfläche des Bogens mit der innern Wölbung macht, unter einer gegen den Horizont geneigten Fläche schief aus. Diese Ausschnitte, welche man **Kuhhörner** nennt, dienen dazu, die bei einem höhern Wasserstande gegen die Brücke treibenden Körper sanft einzumünden und deren Stoß auf die Kanten der Stirnsteine unschädlich zu machen. **Perronet** machte bei der Brücke zu Neuilly noch zuerst von diesem Hilfsmittel eine Anwendung (s. Figur 486). Die durch diesen Ausschnitt entstandene Fläche ist hier windschief und verbindet einen Kreisbogen an der Stirn der Brücke mit einer der Ellipse sich nähernden Curve an der innern Wölbung, wodurch an jedem Bogenschenkel ein windschiefer Wasserweg erhalten wird. Durch diese Anordnung erscheint der Bogen noch flacher als er wirklich ist.

Diese in der That sehr beschwerliche Einrichtung für die Ausführung kann jedoch füglich ganz unterbleiben, sobald die Bögen erst in solcher Höhe anfangen, daß das höchste Wasser nicht viel über die Hälfte, höchstens bis $^3/_4$ der Bogenhöhe reicht.

Wir haben oben angeführt, daß durch die Höhe der Ufer oder der zur Brücke führenden Straßen auch gleichzeitig die Höhe der Bögen bestimmt sei. Dies findet unbedingt statt, wenn man alle Bögen gleich hoch anlegt und ihnen allen eine gleiche Bogenhöhe giebt, so daß die Straßenlinien und die Hauptlinien an den Stirnflächen der Brücke völlig wagerecht liegen. Bei be-

schränkter Höhe hat diese Anordnung aber immer den Nachtheil, daß durch die hervortretenden Schenkel der Gewölbe die Durchflußöffnung zu sehr verengert wird. Um daher in solchen Fällen eine möglichst große Durchflußöffnung zu gewinnen, läßt man die mittlern Bögen ansteigen. Damit aber dann die Anfänge der Bögen wo möglich alle in eine Horizontalebene zu liegen kommen, was nothwendig ist, damit die Pfeiler nicht in verschiedenen Höhen einen verschiedenen Horizontaldruck erleiden, was im Falle einer zu leichten und kühnen Construction der Pfeiler möglicher Weise ein Ausweichen derselben nach einer Seite hin, wo der Gegendruck am schwächsten und höchsten ist, zur Folge haben kann, so erhalten die mittlern Bögen auch zweckmäßig eine größere Weite als die den Ufern zunächst liegenden Bögen. Dies findet man bei vielen Brücken ausgeführt; es geht zwar hierdurch das schönere und kühnere Aussehen, welches eine völlig wagerechte Brücke hat, verloren, der dadurch erreichte Vortheil einer größern Durchflußöffnung ist aber bedeutender und wiegt in dieser Beziehung das Verlorene vollständig auf.

Ein anderer Nachtheil, der bei den horizontalen Fahrbahnen stattfindet, ist der, daß der Abfluß des Regenwassers trotz aller künstlichen Vorrichtungen doch immer sehr erschwert wird. Eisenbahnbrücken müssen nun unter allen Umständen immer eine horizontale Fahrbahn erhalten und muß man den Gossen, in welchen das Regenwasser abgeleitet werden soll, alsdann mindestens $^1/_{100}$ Fall geben, was eben hinreichend zur Abführung des Regenwassers ist. Auf andern Fahrstraßen würde aber ein solches geringe Gefälle nicht genügen, indem da das Wasser nicht so rein abfließt und sich leicht verstopfen würde durch den mit fortgeführten Schlamm.

Soll die Brücke nur für Fuhrwerk und sonstige Passage dienen, so kann man der Brücke bis nach der Mitte hin eine Steigung bis zu $^1/_{32}$ geben, ohne daß es für das Fuhrwerk eben bedeutend beschwerlich sein würde. Die Fußbahnen kann man hierbei dennoch wagerecht legen, indem man sie in einigen Stufen endigen läßt, was das Angenehme wieder hat, daß dieselben dann nicht befahren werden können.

Diese Mehrhöhe, die durch eine solche Anordnung gewonnen wird, ist unter Umständen sehr vortheilhaft in Betreff der Vergrößerung der Durchflußöffnung, und ferner gestattet sie auch eine schnellere Abführung des Regenwassers.

Es muß jedoch immer der Einsicht und der Beurtheilung des Baumeisters überlassen bleiben, wie und auf welche Art die Anordnungen getroffen werden müssen, um obigen Bedingungen möglichst Genüge zu leisten. Feste Regeln für alle Fälle lassen sich darüber nicht aufstellen, indem es immer von Localumständen abhängig ist, hierbei aber die Fälle sehr verschiedenartig sein können. Unter keiner Bedingung darf man aber das Nothwendige und Zweckmäßige einer scheinbaren Schönheit unterordnen oder gar opfern; dieses würde nur zum großen Nachtheil des Ganzen geschehen können.

§. 10. Von den Brückenaugen.

Was die Brückenaugen betrifft, so wurde bereits in §. 7 darüber angeführt, daß dieselben hauptsächlich daher ihr Entstehen gehabt hätten, um das Wasser, sobald es eine gewisse Höhe erreicht hätte, schneller abführen zu können, also nur auf einer gewissen Höhe die Durchflußöffnung zu vergrößern. Dieser beabsichtigte Zweck wurde aber im Allgemeinen nur sehr mangelhaft erreicht; denn um diese Oeffnungen möglichst groß erhalten zu können, mußten die Pfeiler unmäßig verstärkt werden. Allein trotz der Vergrößerung dieser Oeffnungen hinderten sie doch sehr häufig den Durchfluß auf der Oberfläche des Wassers schwimmender Körper; diese legten sich dann leicht vor eine solche Oeffnung, verstopften sie wohl gar und verhinderten somit eine schnellere Abführung des Wassers, was aber stellenweise und nicht selten mit großer Gefahr für das Bauwerk selbst verbunden war.

Man findet daher eine Anwendung der Brückenaugen zu dem erwähnten Zwecke nur bei ältern Brücken. In neuern Zeiten dagegen hat man von diesen Brückenaugen eine andere Anwendung gemacht und zwar hat man sie dazu benutzt, um den Pfeilern ein bedeutendes Gewicht abzunehmen. Auch hat man sie zu dem Zwecke angewendet, die Last in den Brechpunkten des Gewölbes zu vermindern, ohne aber dadurch die nothwendig erforderliche Spannung aufzuheben.

In ersterer Beziehung machte Perronet von dieser Anordnung beim Bau der Brücke zu Orleans eine Hauptanwendung. Es hatte sich nämlich beim Bau der Brücke gezeigt, daß, nachdem die Gewölbe geschlossen, die Hintermauerung aber noch nicht vollständig aufgeführt war, der siebente Mittelpfeiler sich bedeutend zu setzen anfing, was zu den größten Besorgnissen Veranlassung gab. Man belastete nun, um zu erfahren bis wie weit sich diese Senkung erstrecken würde, diesen Pfeiler mit einem Gewichte von 1,200,000 Pfd., welche Last nach und nach bis zu 2,400,000 Pfd. vermehrt wurde. Unter dieser Last senkte sich der Pfeiler immer tiefer und zwar bis ungefähr um 18 Zoll. Ein nachheriges weiteres Senken unter dieser Last wurde nicht bemerkt; es wurde daher die Last, nachdem sie mehrere Monate den Pfeiler beschwert hatte, wieder entfernt und um sich gegen ein solches Setzen ferner zu sichern, wurde von diesem so wie vom fünften, sechsten und achten Pfeiler ein Theil der darauf liegenden Hintermauerungen weggenommen und auf jedem Pfeiler ein Gewölbe von 17 bis 18 Fuß Weite, als so stark die Pfeiler waren, und von $13\frac{1}{2}$ Fuß Höhe, und auf jeder Seite dieser Gewölbe ein kleineres Gewölbe von 15 Fuß Weite und $7\frac{1}{2}$ Fuß Höhe angeordnet. Durch diese Anordnung wurde die auf jedem dieser Pfeiler bis dahin ruhend gewesene Last um etwa 1,800,000 Pfd. vermindert. Diese Anordnung ist in Figur 487 dargestellt.

Eine ähnliche Anordnung wurde auch bei der steinernen Westminsterbrücke zu London hergestellt, wo der eine Pfeiler sich auch bedeutend gesenkt hatte.

In Figur 488 ist eine Anordnung dargestellt, wie sie nach den ersten Plänen bei der Nydecker Brücke in Bern hat stattfinden sollen, was aber später dahin umgeändert worden ist, daß man die zu beiden Seiten des großen Brückenauges befindlichen ansteigenden Bogengewölbe weggelassen und durch nach der Längenrichtung der Brücke sich erstreckende Gewölbe ersetzt hat. Sie wurden hier hauptsächlich deshalb angeordnet, um einmal den nachtheiligen Einfluß, welchen bedeutende Erdanfüllungen im Innern des Mauerwerks mit der Zeit verursachen, zu vermeiden, ferner aber auch, um die Last in den Brechpunkten des Gewölbes zu verringern, ohne aber die erforderliche Spannung zu vermindern. Die Brückenaugen erhielten einen Durchmesser von etwa 32 Fuß. An den Stirnen wurden sie aber vermauert, so daß sie äußerlich nicht sichtbar waren. Dasselbe fand auch bei oben angeführten Beispielen statt.

Aehnliche Anordnungen, jedoch in anderer Weise, werden wir bei weiter anzuführenden Beispielen noch mehrfach angegeben finden.

Fünftes Capitel.

Ueber Pfeilerformen.

§. 11. Ueber Pfeilerformen.

Der horizontale Durchschnitt der eigentlichen Brückenpfeiler ist ein Rechteck; da es aber nothwendig ist, dieselben sowohl gegen den Stoß schwimmender Körper zu schützen, als auch gleichzeitig das Durchfließen des Wassers zwischen den Pfeilern zu vermitteln und dabei die Bildung von Wirbeln und ihre Wirkung auf das Flußbette zu verhindern, so endigt man sie stromauf- und stromabwärts durch ein über die Brückenstirne vorspringendes Stück Mauerwerk. Diese Mauervorsprünge nennt man **Pfeilerköpfe**, **Vor-** und **Hinterköpfe**, **Schutzpfeiler** oder auch wohl **Pfeilervorspitzen**, und machen dieselben mit den eigentlichen Brückenpfeilern eine Masse aus.

Es entsteht nun zunächst die Frage, — welches die vortheilhafteste Form für den Grundriß der Pfeilerköpfe sei. — Bei Lösung dieser Frage hat man, wie schon oben im Allgemeinen angedeutet wurde, auf zweierlei Rücksicht zu nehmen. Erstens auf den Stoß des Wassers und des Treibeises, so wie auch anderer großer schwimmender Körper; ferner aber auf die Zusammenziehungen, Stauungen und Wirbel, welche entstehen, wenn das Wasser aus einem weitern Profile in ein engeres tritt, und die unterspülend auf die Fundamente wirken können.

Im Allgemeinen hat man vier verschiedene Formen der Pfeilerköpfe in

Anwendung gebracht, nämlich die dreieckige mit geraden Seiten, die halbkreisförmige, die durch zwei aus verschiedenen Mittelpunkten beschriebenen Kreisstücke eingeschlossene Form und die einer halben Ellipse.

Erhält der Pfeiler keinen Vorkopf, sondern bildet die vordere Wand desselben mit dem Strome einen rechten Winkel, so entsteht vor demselben ein bedeutender Aufstau der Oberfläche und seitwärts bildet sich ein förmlicher Wassersturz, welcher auf die Gründung des Pfeilers gewaltsam einwirkt und daselbst Unterspülungen hervorbringt. Bei Eisgängen schieben sich die Eismassen gegen den Pfeiler und können weder zerbrechen noch an demselben seitwärts abgleiten, und es erhält sich dann fortwährend eine Erschütterung, die nur nachtheilig auf das Brückengewölbe wirken kann. Wir sehen also hieraus, daß die Anordnung von Pfeilerköpfen zur fernern Erhaltung der Brücke durchaus nothwendig ist.

Betrachten wir nun zunächst das rechtwinklige Dreieck. Dasselbe spaltet zwar den Strom, lenkt das davor ankommende Wasser von seiner Richtung ab und verursacht somit eine Zusammenziehung des Strahls nach der Mitte der Oeffnung zu, wodurch zwar die größte Geschwindigkeit ungefähr in die Mitte der Oeffnung gebracht wird. Da aber die Stromscheidung zu plötzlich entsteht und die Zusammenziehung zu weit oberhalb sich bildet, so entstehen hierdurch unmittelbar an den Pfeilern Wasserfälle und Widerströme, die für die Pfeilerfundamente sehr gefährlich sind.

Das gleichseitige Dreieck dagegen ist schon viel vortheilhafter, indem hierdurch der Strom nicht so plötzlich gespalten wird und die Stromfäden nicht so bedeutend divergiren, also auch die Bildung von Wasserfällen in unmittelbarer Nähe seitwärts der Pfeiler nicht in dem Grade zulassen, wie dies bei dem rechtwinkligen Dreieck der Fall ist. Bei dieser Form tritt jedoch der Umstand ein, daß die vordern Kanten der Pfeiler zu scharf werden und zu leicht durch die bei Eisgängen gegentreibenden Eismassen oder durch sonstige gegentreibende Körper beschädigt werden können.

Was die Halbkreisform betrifft, so erhält man dadurch zwar dicht vor dem Pfeiler einen höhern Aufstau des Wassers als beim gleichseitigen Dreiecke, allein das Wasser theilt sich nicht so gewaltsam, wie beim rechtwinkligen Dreieck. Die Stromfäden werden hier zwar auch aus ihrer Richtung gebracht, allein sie müssen alsdann einer stetig krummen Linie folgen, welche sich tangirend an die Pfeilerwände anschließt. Gegen Eisgang schützen diese Pfeilerköpfe nun nicht sehr, indem sie die Eisschollen nicht zerbrechen, sie befördern aber auch keine Eisstopfung, weil die Eisschollen seitwärts abgleiten können.

Nach directen Versuchen, die Gauthey mit 0,15 Meter dicken Pfeilern, bei einer Canalbreite von 0,5 Meter und einem Wasserzuflusse von 0,04 Meter Dicke, bei einer Geschwindigkeit von 3,9 Meter in der Secunde angestellt hatte, fand derselbe, daß die Rechtecksform die ungünstigste sei; daß aber die Form eines rechtwinkligen Dreiecks die Auskolkungen wahrscheinlich noch mehr befördern würde; daß ferner der Halbkreis zweckmäßiger, das gleichseitige Dreieck aber noch zweckmäßiger sei; und daß endlich die günstigste Form diejenige sei, welche aus zwei Kreisbögen bestehe, die an den Vorderseiten des Pfeilers

tangiren und deren Mittelpunkt beziehungsweise auf diesen Vorderseiten liegen und zwar in den Eckpunkten derselben.

Derselbe fand ferner, daß die Form einer halben Ellipse, deren kleine Achse gleich der Pfeilerbreite ist, die geringste Stauung und Zusammenziehung verursachte. Diese Form bietet aber den Eisschollen eine breitere Stirn dar, und zerbricht demnach das Eis nicht so leicht, als eine schmälere thun würde, weshalb er diejenige Form vorzieht, welche aus zwei Kreisbögen besteht. Es ist auch ferner noch dabei zu bedenken, daß bei solchen Pfeilern, welche zugleich als Widerlager dienen sollen, die elliptischen Vorköpfe zu sehr lang werden würden, wenn sie, was doch, um einen gehörigen Effect zu erzielen, geschehen müßte, doppelt so lang als breit würden. Hierdurch würden aber die Baukosten jedenfalls sehr wesentlich vermehrt werden.

Die Form eines Dreiecks, dessen äußere Schenkel hohle krumme Linien bilden, kommt zwar bei Mittelpfeilern nicht vor, wohl aber bei Stirnpfeilern mit hohlen Flügeln. Diese Form (Figur 494) ist jedoch die nachtheiligste von allen, und darf man sich ihrer daher, ungeachtet sie angenehm für das Auge wirkt, nicht bedienen.

Diese verschiedenen Formen von Vorpfeilern sind in den Figuren 489 bis 494 dargestellt. Die meiste Anwendung finden die in den Figuren 491 und 492 dargestellten Vorpfeiler.

Um den Pfeiler noch mehr gegen Eisschollen zu sichern, kann man die vordere Kante desselben noch mit einer 5 Zoll dicken eisernen Schiene belegen, die dann gehörig in den einzelnen Werkstücken verankert sein muß, wie in Figur 493 A angedeutet ist. Uebrigens ist dies selten erforderlich, indem die vordere Kante nie so scharf wird, als bei den geradlinigen Dreiecken und außerdem das Eis, wenn es in Gang kommt, schon immer ziemlich mürbe ist, wenigstens nicht mehr so fest, daß man überhaupt noch ein Ausbrechen der Steine erwarten könnte.

Die elliptische Form findet im Ganzen trotz ihrer Zweckmäßigkeit hinsichtlich der Zusammenziehungen des Wassers nicht viele Anwendung, indem sie zu lang werden würde, wenn man sie doppelt so lang als breit nehmen wollte, welches Verhältniß aber das zweckmäßigste wäre. Bei der Brücke zu Neuilly hat Perronet zu den Vorpfeilern Korblinien angewendet, die aus sieben Mittelpunkten beschrieben waren.

Was die Form der Hinterköpfe der Pfeiler betrifft, so ist diese zwar minder wichtig als die der Vorköpfe, allein durchaus nicht gleichgiltig. Läßt man dieselben ganz fehlen, macht also die Pfeiler an ihrer hintern Seite rechteckig, wie man dieses an manchen alten Brücken findet, so entstehen an dieser Stelle gemeiniglich Wirbel, die nachtheilig auf das Grundbette wirken und Unterwaschungen hervorbringen können, und zwar in derselben Art, wie oberhalb der Brücke, wenn daselbst die Vorköpfe fehlen. Man muß daher ebenfalls Hinterköpfe anordnen und macht diese am zweckmäßigsten, wie in Figur 492 angedeutet ist, indem man ihnen die Form eines Dreiecks mit convexen Seiten giebt. Man giebt ihnen auch vielfach die Form eines Halbkreises, jedenfalls ist aber die erstere Form vorzuziehen, zumal wenn man sie

noch etwas länger macht als die Vorköpfe, damit die Ausbreitung des Wassers in einem weitern Profile nicht unmittelbar an der Brücke selbst, sondern etwas weiter abwärts vor sich gehe. Sind die Hinterköpfe zu kurz, so kann dieses namentlich bei schnellem Anwachsen des Wassers, wo oberhalb der Brücke Stauungen entstehen, unter den Brückenbogen aber selbst dann ein Wasserfall stattfindet, sehr nachtheilig werden, wie auch schon mehrere Fälle dargethan haben.

Was die Höhe der Vorköpfe betrifft, so müssen diese, da sie nicht allein dazu bestimmt sind, das Wasser zu zertheilen, sondern auch die Eisschollen abzuweisen, wenigstens so hoch als das höchste Wasser aufgeführt werden. Steigt das Wasser bis weit über die Bogenanfänge, so befördern sie zwar nicht mehr in dem Grade die Einmündung des Wassers, als bei einem niedrigen Stande desselben; allein sie zertheilen dennoch immer das Wasser und wird der Aufstau doch nie so bedeutend werden, indem die einzelnen Stromfäden dadurch, daß sie gegen den Vorkopf stoßen, schon eine etwas andere Richtung erhalten.

In verticaler Richtung werden die Vorköpfe säulenförmig, entweder gerade oder bauchig. Dieses Letztere findet statt bei der Brücke zu Neuilly, wie in Figur 486 angedeutet; diese Anordnung ist aber nicht zweckmäßiger als jede andere säulenförmige, sondern man muß sie als eine bloße Künstelei betrachten, indem die Verjüngung zu unbedeutend ist, als daß sie auf einen schnellern Durchfluß Wirkung haben könnte. Gehen diese Vorpfeiler nicht bis an das Mauerband (Kranzgesimse), sondern nur etwas über das höchste Wasser, so werden sie am obern Ende mit einem Deckstein überlegt, um das Mauerwerk gegen Regen und eindringende Näße zu schützen. Dieser Deckstein heißt die Mauerhaube oder Kappe. Bei kleinen Brücken kann man diese Kappen welche die Grundform des Pfeilers erhalten und eine konische oder sphäroidische Form haben können, aus einem Steine anfertigen, was jedenfalls am zweckmäßigsten ist. Bei größern Brücken würde dies aber zu schwierig sein; man würde einmal nicht einen so großen Stein, als dazu erforderlich sein möchte, ohne besondere Schwierigkeiten erhalten können und ferner würde auch ein zu starkes Hebegeschirr und eine zu bedeutende Zurüstung erforderlich sein, um einen Stein von solcher Größe gehörig zu versetzen. In diesem Falle wird daher die Kappe aus mehrern Steinen zusammengesetzt; man hat aber dann darauf zu sehen, daß die Verbindung der Steine recht vollständig ist und die Fugen möglichst accurat zusammengearbeitet sind. Ueberhaupt hat man sich dabei vor Ritzen und Spalten zu hüten, die sich durch Verschieben eines Steines ergeben könnten. In solchen Spalten entstehen nicht allein sehr leicht allerhand Gewächse, namentlich Moosarten, sondern es sammelt sich auch darin Wasser, welches im Winter, wenn es gefriert, sehr leicht die Steine aus ihrer Verbindung bringen kann.

Werden die Vorköpfe bis zur ganzen Höhe der Brücke aufgeführt, so erhalten sie keine solche Kappe zur Bedeckung, sondern es wird dann das Gesimse der Brücke nach der Form der Vorköpfe darüber weggeführt und desgleichen auch die Brüstung. Haben die Vorköpfe die Form eines Halbkreises, so ist eine solche Anordnung sehr gut, denn sie gewährt einmal der Brücke

einen ernsten und edlen Charakter, so wie ein festes und solides Aussehen; ferner aber läßt sich dieser so gewonnene Raum auch sehr zweckmäßig zu Ruheplätzen einrichten und noch dadurch sehr vergrößern, daß man das Gesimse, auf Kragsteinen oder Sparrenköpfen ruhend, vorspringen läßt und darauf dann die Brüstung setzt.

Spitzen Vorköpfen kann man zwar auch die ganze Höhe der Brücke bis zum Kranzgesimse geben, wie dieses an der alten London- und Westminsterbrücke geschehen ist: allein dies gewährt kein gutes Aussehen und ist hierbei jedenfalls eine Bedeckung mit einer Kappe unterhalb des Kranzgesimses vorzuziehen.

Man hat übrigens die Vorköpfe verschiedenartig angeordnet und sollen hier mehrere Beispiele davon angeführt werden.

In Figur 495 A ist der Auf- und Grundriß eines Pfeilers der Brücke des Lancaster-Canals über den Fluß Lune dargestellt. Die Form der Vorköpfe ist hier ein Dreieck, dessen beide äußern Seiten aus zwei sich schneidenden Kreisbögen bestehen. Diese Vorköpfe gehen nur bis zu den Anfängen der Bögen und ist dann weiter ein viereckiger verzierter Pfeiler bis zur Brückenkrönung aufgeführt, wodurch die Mauermasse zwischen den Bogenschenkeln getheilt wird. Die Kappe der Vorköpfe besteht hier aus einem pyramidal zugearbeiteten Steine, der oben abgeplattet ist und worauf der viereckige Pfeiler steht. Dieser Pfeiler besteht abwechselnd aus vorgesetzten Steinen und aus dünnern Schichten, die mit den Schichten des übrigen Mauerwerks correspondiren und damit verbunden sind. Wenngleich durch die Anordnung dieser Pilaster die schweren Massen des obern Brückenkörpers getheilt werden, so ist dieselbe dennoch nicht zu loben denn der Uebergang aus der dreieckigen Form in die viereckige ist nicht angenehm fürs Auge.

In Figur 495 ist der Aufriß eines Pfeilers der Brücke des Marne-Rhein-Canals über die Moselle bei Liverdun dargestellt. Die Form der Vorköpfe ist hier ein Halbkreis und gehen dieselben bis etwa zur Mitte der Höhe des Bogens, wo sie dann durch eine starke Platte gekrönt und mit einem sehr flachen Kugelsegment bedeckt sind. An der Stirnmauer ist als Fortsetzung des Vorkopfes ein etwa 4 Zoll heraustretender Pilaster angeordnet, welcher bis zur obern Bekrönung der Brücke hinaufreicht und um welchen das Gesimse gekröpft ist. Durch die Anordnung dieser Pilaster wird zwar die bedeutende Mauerfläche zwischen den Schenkeln der Bögen unterbrochen, allein diese Unterbrechungen gewähren kein schönes Aussehen, indem dieselben nicht allein zu wenig hervortreten, sondern sich auch sehr schlecht auf die halbkreisförmigen Vorköpfe aufschließen. Es findet also hier dasselbe statt, was bei der in Figur 495 A angeführten Anordnung erwähnt wurde. Jedenfalls wäre es weit gefälliger fürs Auge gewesen, hätte man die Vorköpfe in der untern Form bis zur Hälfte der Höhe der Bögen oder noch etwas höher aufgeführt, alsdann dieselben mit einem Capitäl gekrönt und dieses mit einer passenden Kappe bedeckt.

Die Vorköpfe der Brücke von Neuilly, Figur 486, sind, wie schon oben erwähnt, nach einer Korblinie geformt, und verbinden sich diese krummen Linien mit den Pfeilergewänden erst unter der Brücke selbst. Die Formen

dieser Vorköpfe nach ihrer Höhe sind auch bauchig angeordnet, was aber keinen weitern Zweck hat, sondern nur zum Zierrath und des leichtern Aussehens wegen angeordnet ist. Die Kappen sind sehr zierlich und aus einem einzigen Steine gehauen.

Figur 496 zeigt einen Pfeiler der Brücke zu Orleans. Der Vorkopf hat hier eine dreieckige sphärische Form, dagegen der Hinterkopf eine Halbkreisform. Die Kappe des Vorkopfes, welche hier höher und spitziger ist als nöthig wäre, besteht aus zwei Kugelsegmenten, die aber nicht von einer stetig krummen Linie begrenzt werden, sondern aus einzelnen Schichten bestehen, die an ihrer untern Kante vertical auf die Lagerfuge bearbeitet sind.

Bei der Brücke über den Clyde bei Milton haben die Vor- und Hinterköpfe der Brückenpfeiler eine dreieckige sphärische Form. Figur 497 zeigt einen Pfeiler dieser Brücke. Die Vorköpfe reichen bis zu den Anfängen der Bögen hinauf und sind daselbst durch eine Kappe bedeckt, welche aus zwei Kugelsegmenten besteht.

In Figur 498 ist ein Pfeiler der Eisenbahnbrücke über den Allier beim Einfluß desselben in die Loire dargestellt. Der Vorkopf besteht hier aus einem halbkreisförmigen Vorbau, der bis über die Anfänge der Bögen hinaufgeht und außer einer Bekrönung, aus mehrern Platten bestehend, mit einer flachen kegelförmigen Kappe bedeckt ist.

In den Figuren 499 und 499 A ist ein Pfeiler der Brücke von St. Maixence dargestellt. Perronet ordnete hier die Pfeiler nicht aus vollem Mauerwerk bestehend an, sondern aus zwei Paaren von gekuppelten Säulen, die in der Mitte durch eine Quermauer verbunden sind. Oberhalb ist ein Querbogen über beide gesprengt. Der säulenartige Vorkopf mit seiner Kappe ist hier sehr zierlich gebildet und aus Einem Stein. Es ist hierbei zwar an Mauerwerk bedeutend gespart, diese Ersparniß wird aber einmal wieder durch die große Menge Eisen, welche zur festen Verbindung nothwendig war, und ferner auch durch den größern Aufwand an Arbeitslohn, welchen die künstlichere Bearbeitung der Steine erforderlich machte, ganz und gar compensirt.

Bei der Brücke über den Neckar bei Cannstatt gehen die Vorpfeiler, welche eine dreieckige sphärische Form haben, wie Figur 500 zeigt, bis zu den Anfängen der Bögen und sind hier ohne weitere Bekrönung mit nur sehr niedrigen Kappen bedeckt.

Perronet hat in seinem Entwurfe zu einer Brücke über die Newa, der dem Strome zugekehrten Kante der Vordertheile der Pfeiler, eine nach der Brücke zu ansteigende Lage, also die Gestalt eines Eisbrechers gegeben, welche Anordnung in Figur 501 näher angedeutet ist.

Man könnte hier noch viele verschiedene Beispiele speciell anführen, allein die bisherigen genügen vollkommen und außerdem werden wir noch mehrere Beispiele der Art bei weiter unten angegebenen Brücken angegeben finden.

Schließlich wollen wir hier noch eine Regel von Wiebeking, die Bestimmung der Länge der Vorköpfe bei Brückenpfeilern betreffend, anführen.

Derselbe sagt: in Flüssen, welche keinen Eisgang führen, genügt zur Länge der Vorköpfe die Hälfte der Pfeilerbreite oder etwas darüber und sie nehme zu bis zur doppelten Breite, je nach der Stärke des Eisganges.

Bei folgenden Brücken beträgt

		die Pfeilerdicke:	und die Länge jedes Vorkopfes:
bei der Brücke von	Mantes	24 Fuß,	$16\frac{1}{2}$ Fuß,
" " " "	Tours	15 "	$13\frac{1}{2}$ "
" " " "	Orleans	17 "	9 "
" " " "	Moulins	12 "	9 "
" " " "	Neuilly	13 "	10 "
" " " "	Compiegne	12 "	$12\frac{1}{2}$ "

Aus diesen angeführten Beispielen ersieht man, daß die oben gegebene Regel von Wiebeking der Praxis entnommen ist, und da diese Brücken sich hinsichtlich ihrer Festigkeit vollkommen bewährt haben, so kann man von der Regel vollständig Anwendung machen, wobei übrigens der Umsicht des auszuführenden Baumeisters noch die genaue Bestimmung der Länge des Vorkopfes überlassen bleibt.

§. 12. Die Verbindung der Vorköpfe mit der Stirnmauer.

Nachdem wir im vorigen Paragraphen die verschiedenen Formen der Vorköpfe besprochen und durch Beispiele näher erläutert haben, ist noch übrig, die Verbindung derselben mit den Stirnmauern näher in Betracht zu ziehen. Soll ein solcher Vorkopf gehörigen Schutz gewähren und allen Wirkungen gegenüber gehörigen Widerstand leisten, so ist durchaus eine gute Verbindung desselben mit der Stirnmauer oder mit dem übrigen Pfeilermauerwerk erforderlich. Dieses zu erreichen bietet aber in manchen Fällen viele Schwierigkeiten dar, denn das Zusammenstoßen der Quaderfugen des Vorkopfes, der Wölbsteine und der Stirnmauer wird durch die schiefen Winkel, unter denen dieses stattfindet, zuweilen unmöglich. Reichen die Vorköpfe nur bis zu den Anfängen der Bögen, wie z. B. in Figur 500 angedeutet, so ist die Verbindung derselben mit dem übrigen Pfeilermauerwerk durchaus keinen Schwierigkeiten unterworfen und kann selbst die Kappe des Vorkopfes manchmal noch sehr zweckmäßig mit in der Stirnmauer verbunden werden, zumal wenn man zu den Brückengewölben flache Kreisbögen anwendet. Dies ist übrigens nicht immer durchaus erforderlich, sondern es genügt vollkommen, wenn der übrige Verband nur richtig eingehalten ist und die Stoßfuge zwischen der Kappe und der Stirnmauer nicht auf eine der nächst untern Schicht trifft. Dieses wäre natürlich schon fehlerhaft und könnte dadurch möglicher Weise ein Abweichen der obern Schichten entstehen.

Reicht aber der Vorkopf nicht über die Anfänge der Bögen hinauf, so stoßen die horizontalen Mauerschichten der Vorköpfe, so wie der Stirnmauer unter einem Winkel an die Wölbschichten eines Kreisbogens, der immer größer

wird, je mehr sie sich dem Scheitel nähern. In diesem Falle hat es aber manche Schwierigkeiten und läßt sich überhaupt dann ein regelmäßiger Verband nicht erhalten, wenngleich ein solcher hier eine sehr wichtige Sache ist und nicht solid genug gemacht werden kann. Der Verband läßt sich hier nur dadurch erreichen, daß man die Werkstücke der Vorköpfe, der Stirn- und der Gewölbemauern abwechselnd, so viel als möglich in einander eingreifen läßt, damit beide Körper möglichst vollkommen mit einander verbunden werden. Dies läßt sich nun dadurch erreichen, daß man die einzelnen Schichten dünner oder stärker anordnet, je nachdem das Eine oder das Andere als passend erscheint, um die Fugen des Gewölbes mit denen der Schutzpfeiler zusammentreffen zu lassen. Immer ist es jedoch nicht möglich, alle Schichten zu vereinigen oder mit einander in einen gehörigen Verband zu setzen und lassen sich dann einige Stoßfugen zwischen der Stirnmauer und dem Vorpfeiler über einander nicht vermeiden.

Sechstes Capitel.

Bestimmung der Stärke des Gewölbes, der Pfeiler und der Widerlager desselben.

---

§. 13. Allgemeines.

Wenngleich schon zu den Römerzeiten Gewölbe gebaut und eben so auch im Mittelalter jetzt zum Theil noch stehende Bögen von sehr bedeutender Spannweite ausgeführt wurden, die noch immer Bewunderung erregen, so läßt sich doch wohl annehmen, daß man dabei lediglich empirisch zu Werke gegangen sei. Erst der spätern Zeit war es vorbehalten, eine Theorie der Gewölbe aufzustellen und zwar waren es die französischen Mathematiker, welche diese Arbeiten zuerst unternahmen. Einer der ersten Schriftsteller, welcher diese Materie wissenschaftlich bearbeitete und diese Arbeit veröffentlichte, war de la Hire. Derselbe stellte in seinem Traité de Mechanique 1695 eine Hypothese auf, nach welcher er den Druck der Gewölbsteine, als von Keilen herrührend, und die Fugen als vollkommen glatte Fugen betrachtete und also die Reibung und den durch den Mörtel bewirkten Zusammenhang ganz außer Acht ließ. Er fand bei dieser Annahme durch Berechnung, daß zu diesem Zwecke die Gewichte der Gewölbsteine sich unter einander verhalten müßten, wie die Differenzen der Tangenten von den Winkeln, welche die untern Fugen der Gewölbsteine mit der Verticalen einschließen. Da aber diese Tangenten sehr schnell zunehmen, so folgt daraus, daß die untersten Steine, welche die Anfänge des Gewölbes bilden, ein unendliches Gewicht haben mußten, um dem Drucke der obern Steine widerstehen zu können.

Nach diesen Principien bestimmte Parent durch Punkte die Krümmung welche die äußere oder obere Gewölbfläche haben müßte, wenn die Krümmung der innern Wölbfläche nach einem Halbkreis gebildet sei.

Nunmehr wurde dieser Gegenstand vielfach bearbeitet als von Couplet, Derant, Gautier, Belidor, Lambert, Prony, Rondelet, Boistard, Berard, Eytelwein und mehrern Andern. Theilweise gründeten sie ihre Theorie auf die Annahme von de la Hire und sind diese namentlich die ältern Schriftsteller; die neuern Schriftsteller dagegen haben nach genauen und umständlichen Versuchen und Beobachtungen mit Modellen und an eingestürzten Brücken, sowie an dem Zusammensetzen oder der Senkung neu erbauter Gewölbe bei ihrer Ausrüstung die Anwendung der Theorie des Keils auf diesen Gegenstand verworfen und die entstehende Senkung nach den Gesetzen des Hebels beurtheilt. Dieser Gegenstand ist aber noch durchaus nicht erschöpft und bei der großen Verschiedenheit der nöthigen Bestimmungsstücke wird es auch nicht möglich sein, diese Aufgabe befriedigend und vollkommen zu lösen.

Die verschiedenen Theorien, welche von de la Hire bis auf die neuere Zeit von den verschiedenen Schriftstellern aufgestellt sind, hier näher anzuführen und aus einander zu setzen, würde nicht allein eine sehr mühevolle, sondern auch eine sehr weitläufige Arbeit werden, die den Raum dieses Buches zu sehr überschreiten würde. Da es aber jedenfalls sehr interessant ist, die verschiedenen Ansichten der einzelnen Schriftsteller, welche über die Theorie der Gewölbe geschrieben haben, kennen zu lernen, so verweisen wir auf Wiebeking's theoretisch-praktische Wasserbaukunst, Bd. III., §. 404, woselbst die verschiedenen Theorien im Auszuge von Camerloher zusammengetragen, mitgetheilt werden.

Wir wollen uns hier damit begnügen, ohne auf weitere theoretische Speculationen einzugehen, einige Methoden zur Berechnung der Stabilität der Wölbungen und was damit in Verbindung steht, anzuführen.

§. 14. Von den Bruchfugen.

Sind bei einem Gewölbe die Stärken der Wölbung und der Widerlager desselben so gering, daß sie dem Gewölbedruck nicht widerstehen können, so ändert die Gewölbeform sich in dem Augenblick, wo das Gerüst, welches bis dahin den Bogen getragen hat, weggenommen und in Ermangelung einer Stützung das bis dahin vorhandene Gleichgewicht gestört wird, und zwar kann sich diese Formveränderung in dreierlei Art kundgeben. Der erste Fall ist der, daß sich die Fugen am Schlußsteine an der innern Seite öffnen, während sie sich außerhalb scharf schließen. Dasselbe findet dann auch bei den abwärts folgenden Fugen statt, jedoch in einem immer geringern Maße bis zu einer Fuge, die gar nicht, weder innerhalb noch außerhalb geöffnet ist. Von dieser Fuge an abwärts öffnen sich dann die Fugen außerhalb und zwar erst stärker, hernach in abnehmendem Maße schwächer bis zu einer Fuge, wo die Lager-

flächen noch gleichlaufend sind. Von hier an öffnen sich die Fugen wieder in der innern Wölbung und zwar fortwährend stärker, bis zum Anfang des Gewölbes. Der zweite Fall, welcher eintreten kann, ist, daß die Wölbung sich am Schlußstein und in den Gewölbewinkeln spaltet und daß die Bogenpfeiler an ihrer Grundfläche ausgleiten.

Ferner kann aber auch möglicher Weise noch der Fall stattfinden, daß das untere Wölbstück, nämlich das Ganze des Bogenpfeilers und des Theils der untern Wölbung am Gewölbewinkel eine Neigung zum Vorwärtsfallen äußert, und also dann eine Drehung in entgegengesetzter Richtung erfolgt. Hierbei öffnet sich die Wölbung wie im ersten Falle, jedoch mit dem Unterschiede, daß sich dieselbe am Schlußstein nach dem Gewölberücken und an den Gewölbewinkeln in der Gewölbeleibung öffnet und ferner die Bogenpfeiler sich um die innere Kante ihrer Grundfläche drehen.

Bei allen Gewölben trifft nun einer dieser Fälle immer ein und zwar in einem mehr oder minder starken Grade durch die Wirkung des Setzens. Die hierbei in den Bogenschenkeln entstehenden am weitesten geöffneten Fugen heißen die Brechungsfugen, und die Punkte, in welchen ihre Mittellinie die innere Wölbung schneidet, die Brechungspunkte. Die Lage dieser Brechungsfugen ist für die Theorie, so wie auch für die Praxis immer ein wichtiges Bestimmungsstück, wenngleich diese nach Umständen nicht unveränderlich sind.

Hierüber sind mehrfache Beobachtungen angestellt und namentlich sind die von Perronet sehr schätzenswerth. Nach diesen Beobachtungen können die ersten Schichten der Gewölbsteine, die sogenannten ruhenden Lagen ohne Hilfe des Lehrgerüstes gelegt werden, indem dieselben nicht eher zu gleiten anfangen, als bis die Neigung der Lagerflächen gegen den Horizont 39 bis 40 Grad beträgt. Wird die Neigung größer, so gleiten die Steine auf ihren Lagerflächen und es bedarf alsdann schon einer Unterstützung, um dieselben in ihrer Lage zu erhalten. Wird das Gewölbe weiter fortgeführt, so wird auch die Last auf das Unterstützungsgerüst vergrößert. Dieses muß sich aber in Folge dessen nothwendig setzen, und durch dieses Setzen entstehen nothwendig Fugenöffnungen in dem Gewölbemauerwerk. Bei dem Bau der Brücke St. Edmund in Nogent, so wie auch bei der Neuilly-Brücke wurde dieses genau beobachtet. Bei der erstern Brücke, deren Bogen ein Korbbogen von 29,24 Meter Spannweite und 8,77 Meter Pfeilhöhe war und wo jede Hälfte des Bogens aus 47 Schichten von Gewölbsteinen mit Ausnahme des Schlußsteins bestand, lösten sich, nachdem die ersten zwanzig Schichten gelegt waren, die letzten fünf Schichten durch das Setzen des Lehrgerüstes ab. Die Bruchfuge öffnete sich um 0,02 Meter auf der äußern Wölbfläche oberhalb der fünfzehnten Schicht und eben so trat auch eine verticale Trennung zwischen dem Gewölbe und den horizontalen Schichten der Brückenpfeiler ein. Bei der weitern Vollendung des Gewölbes schlossen sich diese Fugen wieder und fand sich die Bruchstelle weiter nach oben gerückt.

Bei der Neuilly-Brücke öffneten sich die Fugen nach und nach auf der äußern Wölbfläche in dem Maße, in welchem das Versetzen der Steine fort-

gesetzt wurde, um $\frac{1}{2}$ bis 7 Millimeter und zwar bei der elften bis zur sechsunddreißigsten Schicht.

Die Brechungsfugen, wovon wir oben gesprochen, zeigen sich aber erst nach dem Einsetzen des Schlußsteins und zwar in Folge dessen, daß alsdann das Lehrgerüst im Scheitel belastet ist und dadurch die Seiten desselben nach oben gedrängt werden.

An dem Bogen der Brücke zu Nogent zeigten sich diese Brechungsfugen auf 50 Grad von den Anfängen des Bogens ab. Bei der Neuilly-Brücke öffneten sich die Fugen der Gewölbsteine zwischen der sechsundzwanzigsten bis einunddreißigsten Schicht und zwar zeigte sich die größte Oeffnung zwischen der sechsundzwanzigsten und siebenundzwanzigsten Schicht, welche daher als die Brechungsfuge angesehen werden mußte. Bei Modellen fand man die Lage der Brechungsfuge abwechselnd von 40 bis 60 Grad von den Anfängen des Bogens ab. Die Lage dieser Bruchfugen wird aber noch ungewisser bei Anwendung einer größern Anzahl Wölbsteine, indem dünne Keile nicht in einer, sondern in mehrern Fugen von einander getrennt werden, die aber alle in der Nähe des Brechungspunktes liegen.

Aus diesen Beobachtungen, so wie auch aus manchen Erfahrungen, die darüber gemacht sind, geht hervor, daß bei den Bewegungen der Gewölbe die Theile nicht auf einander gleiten, sondern durch Drehung um die obern oder untern Kanten der Wölbsteine sich von einander entfernen. Ferner, daß ein einstürzendes Gewölbe in vier Haupttheile zerbricht, von denen die beiden obern Theile sich senken, während die beiden untern Theile nach außen umgeworfen werden. Zuweilen geschieht es aber auch, daß die untern Theile des Gewölbes auf den horizontalen Fugen am Widerlager gleiten, während die obern Theile sich durch Drehung um die Kanten der Gewölbsteine drehen.

Man kann daher eine Wölbung als aus vier Gewölbstücken zusammengesetzt betrachten, die durch Fugen da von einander getrennt sind, wo der Bruch möglich ist und die sich gegenseitig im Gleichgewicht halten müssen.

§. 15. Von der Stärke der Wölbungen.

Im vorigen Paragraphen haben wir die verschiedenen Fälle angedeutet, welche bei der Störung des Gleichgewichts eines Gewölbes stattfinden können. Untersuchen wir nun den ersten Fall, so läßt sich in Bezug darauf annehmen, daß in dem Augenblick, wo das Gleichgewicht in dem Gewölbe gestört wird, die Wölbsteine nur noch durch die Kanten a, b, b′, c und c′ (Figur 502) sich gegenseitig stützen und die Gewölbstücke ab, bc, ab′ und b′c′ sind dann unter sich in demselben Zustande des Gleichgewichts wie die geraden Linien ab, bc, ab′ und b′c′, wenn man sich dieselben von gleicher Schwere wie die entsprechenden Gewölbstücke denkt und ihre Schwerpunkte in den Durchschnittspunkten G′, g′ u. s. w. einer Senkrechten liegen, welche von den Schwerpunkten G, g u. s. w. der Gewölbstücke gefällt werden. Untersuchen wir nun

zur Berechnung des Drucks des Gewölbes ein Stück desselben, so ist klar, daß wenn auf dieser Länge Gleichgewicht vorhanden ist, dieses dann auch auf der ganzen Ausdehnung des Gewölbes stattfinden muß.

Es sei zu dem Ende $ad = x$; $de = x'$; $ef = y$; $fc = y'$; $bh = z$ und $ci = z'$; ferner sei das Gewicht des Gewölbstückes $ab = P$ und dasjenige des Gewölbstückes $bc = Q$.

Nimmt man nun an, daß das Gewicht P, welches man sich im Schwerpunkte G vereinigt denken kann, im Punkte G' oder auch in h wirksam sei, und zerlegt dasselbe in zwei senkrechte Kräfte, wovon die eine in a, die andere aber in b als wirkend gedacht wird, so erhält man für die in a wirkend gedachte Kraft $P\frac{z}{x}$ und für die in b wirkend gedachte Kraft $P\frac{x-z}{x}$.

Das Gewicht Q des Theils bc, welches im Punkte g, als dem Schwerpunkte von bc, vereinigt gedacht werden kann, läßt sich ebenfalls als in g' oder auch in i wirkend annehmen; und zerlegt man auch diese Kraft in Bezug auf die Punkte b und c in zwei senkrechte Kräfte, so erhält man für die in b, $Q\frac{z'}{x'}$ und für die andere in c, $Q\frac{x'-z'}{x'}$.

Dieselben Werthe erhält man auch beziehungsweise für die in den Punkten a, b' und c' wirkenden Kräfte und wirkt daher im Punkte a eine senkrechte Kraft $= 2P\frac{z}{x}$. Zerlegt man diese Kraft nach den Richtungen ab und ab' in Seitenkräfte und bezeichnet jede dieser Seitenkräfte mit C, so erhält man leicht

$$C = P \cdot \frac{z\sqrt{x^2+y^2}}{xy}.$$

Denkt man sich dann ferner diese Kraft C im Punkte b wirkend und zerlegt dieselbe nach horizontaler und verticaler Richtung in Seitenkräfte, so erhält man die verticale Seitenkraft $= P\frac{z}{x}$, und

die horizontale Seitenkraft $= P \cdot \frac{z\sqrt{x^2+y^2}}{x \cdot y} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} = P \cdot \frac{z}{y}$.

Betrachten wir nun das Wölbstück bc, so wirkt auf dasselbe die horizontale Kraft $P\frac{z}{y}$ und die verticalen Kräfte Q, $P\frac{z}{x}$ und $P\frac{x-z}{x}$. Von diesen verticalen Kräften hat die erstere ihren Angriffspunkt in g, die letztere dagegen in b.

Die Stabilität des Wölbstückes bc verlangt nun, daß in Beziehung auf den Punkt c als Drehpunkt, die Summe der Producte der verticalen Kräfte in ihre respectiven Hebelsarme größer sei, als das Product der horizontalen Kraft, welche im Punkte b angreift, in ihrem Hebelsarm. Man hat daher die Bedingungsgleichung

$$Qz' + \left(P\frac{z}{x} + P\frac{x-z}{x}\right)x' > P\frac{z}{y} \cdot y',$$

$$\text{oder } Qz' + Px' > P\frac{zy'}{y},$$

$$\text{oder } Qz' + Px' - P\frac{zy'}{y} > o.$$

Addirt man nun zu dem ersten Gliede dieses Ausdrucks, $Pz - Pz$, so erhält man

$$Qz' + P(x' + z) - \left(Pz + P\frac{z}{y} \cdot y'\right) > o,$$

$$\text{oder } Qz' + P(x' + z) - Pz\left(\frac{y + y'}{y}\right) > o.$$

Es ist aber $Q\,z'$ das Moment des Wölbstückes a b in Bezug auf den Punkt c; ferner $P(x' + z)$ ist desgleichen das Moment des Wölbstücks a b in Bezug auf den Punkt c; es ist daher die Summe dieser beiden Momente gleich dem Gesammtmomente des halben Gewölbes in Beziehung auf den Punkt c.

Bezeichnet man nun das Gewicht des halben Gewölbes mit M, also $M = P + Q$, und ist A die horizontale Entfernung des Schwerpunktes des halben Gewölbes vom Punkte c, ferner H die Höhe $y + y'$, so ist

$$Pz \cdot \frac{y + y'}{y} = Pz \cdot \frac{H}{y}.$$

Bringt man diese verschiedenen Werthe in obigen Ausdruck, so ergiebt sich dafür

$$MA - Pz \cdot \frac{H}{y} > o;$$

oder

$$H\left(\frac{MA}{H} - P\frac{z}{y}\right) > o.$$

Ist nun $P\frac{z}{y} > \frac{MA}{H}$, so liefert der Ausdruck jedenfalls einen negativen Werth und es muß alsdann nothwendig ein Bruch des Gewölbes erfolgen. Ist aber $\frac{MA}{H} = P\frac{z}{y}$, so wird der Ausdruck gleich Null und es ist zwar Gleichgewicht vorhanden, welches aber durch den geringsten Anlaß gestört werden und ebenfalls den Bruch des Gewölbes nach sich ziehen kann. Es muß daher, um eine wirkliche Stabilität des Gewölbes zu erhalten, $P\frac{z}{y} < \frac{MA}{H}$ sein, und wird diese Stabilität um so größer, je kleiner $P\frac{z}{y}$ in Beziehung auf $\frac{MA}{H}$ wird.

Man hat daher, um sicher zu gehen, daß ein Gewölbe nicht breche, diejenige Lage der Fuge zu bestimmen, für welche $P\frac{z}{y}$ ein Maximum wird; denn ist der Ausdruck $\frac{MA}{H}$ constant und der Ausdruck $P\frac{z}{y}$ allein veränderlich, so ist es einleuchtend, daß das Gewölbe in dem Punkte nur brechen kann, für welchen $P\frac{z}{y}$ ein Maximum ist.

Es ergiebt sich hieraus, daß hierbei nur das obere Wölbstück jedesmal in Betracht zu ziehen ist, und daß die Fugen, für welche man die Werthe von P, z und y berechnen muß, in der Nähe derjenigen Fugen zu wählen sind, welche man dem Auge nach für die Bruchfuge hält. Alsdann hat man y und z durch Proberechnungen zu bestimmen, wovon also jedenfalls die Stärke des Gewölbes abhängig wird. Erhält man für $P\frac{z}{y}$ einen zu großen Werth, so muß auch die Breite der Widerlager so vermehrt werden, daß dadurch M A um das Gehörige vergrößert wird. Diese Rechnung läßt sich nun eben so gut auf gedrückte, als auf volle Bögen anwenden. Damit man aber möglichst wenige Proberechnungen nöthig hat, so nimmt man eine zwar beliebige Gewölbedicke an, die aber, wie sich von selbst versteht, ungefähr nach Maßgabe der bei einer bekannten ausgeführten Brücke von ähnlichen Abmessungen, angenommen wird, wovon weiter unten noch näher die Rede sein wird.

Bei obigen Bestimmungen war nur angenommen, daß das Gewölbe nichts weiter als sein eigenes Gewicht zu tragen habe; dieses ist aber wohl nie oder doch nur selten der Fall, sondern es ist gewöhnlich von Mauerwerk überdeckt, dessen Oberfläche eine mehr oder weniger geneigte oder horizontale Fläche über dem Gewölbe und deren Widerlager bildet. Diese Ueberdeckung hat aber häufig noch eine vorübergehende Belastung zu tragen; man hat daher bei obigen Bestimmungen die Größen P, Q gleich so zu berechnen, daß durch dieselben nicht nur die Gewichte der respectiven Gewölbtheile, sondern auch die Gewichte der Uebermauerungen und der Theile der Last ausgedrückt werden, welche die einzelnen Gewölbtheile zu tragen erhalten.

Betrachten wir nun den zweiten Fall, so wirkt hier ebenfalls wieder das obere Gewölbstück und zwar in der Art, daß durch die Wirkung der horizontalen Kraft das Maximum $P\frac{z}{y}$ des Wölbstückes thätig wird und so die Widerlager von ihrer Grundfläche gleiten.

Dieses Gleiten kann nicht stattfinden, sobald das Gewicht M multiplicirt mit dem Reibungscoëfficienten des Widerlagers auf seiner Grundfläche größer ist als $P\frac{z}{y}$, oder wenn K diesen Coëfficienten bezeichnet, so muß im Falle des Gleichgewichts

$$M K > P\frac{z}{y}$$

sein.

Der Reibungscoëfficient variirt nun, je nach der Beschaffenheit der Materialien von 0,33—0,82, und kann man ihn der Sicherheit wegen zu 0,66 annehmen.

Der dritte Fall, in dem sich ein Gewölbebruch zeigt, ist, wie schon oben angeführt, der, wenn durch die Gewölbeform oder durch die Art der Vertheilung der Last die Widerlager nach innen zu fallen streben und wo dann das Gewölbe sich, wie in Figur 503 angedeutet, an den Gewölbewinkeln nach innen und am Schlußsteine nach außen öffnet. Dieser Fall kommt jedoch sehr selten

vor und kann als Ausnahmefall betrachtet werden. Will man aber dennoch die Stabilität dieses Gewölbes bestimmen, so stellt man die Bedingungen des Gleichgewichts, wie im ersten Falle, nur daß man als Drehpunkte der Wölbstücke die Punkte a, b, c annimmt.

Behält man dann in Beziehung auf diese Drehpunkte die oben beim ersten Falle angegebenen Bezeichnungen bei, so verlangt die Stabilität des Gewölbes, daß

$$P \frac{z}{y} . y' > Q z' + P x' \text{ sei,}$$

indem es hier namentlich die im Punkte b wirkende horizontale Kraft des obern Wölbstücks ist, welche die Stabilität hervorbringt, dagegen die verticalen Kräfte diesem entgegen wirken. Entwickelt man dann diesen Ausdruck in der Art, wie beim ersten Fall geschehen, so erhält man, damit Stabilität vorhanden sei, den Ausdruck

$$H P . \frac{z}{y} > M A,$$

wo dann H, M, A, z, y dieselben Bedeutungen haben, wie oben angeführt, jedoch hier in Beziehung auf die veränderten Punkte a, b, c als Drehpunkte.

Bei diesem dritten, so wie auch bei dem zweiten Falle ist jedoch ebenfalls Rücksicht auf die Mauerbedeckung und auf die vorübergehende Belastung, die auf der Wölbung ruhen, zu nehmen.

Bei der oben erwähnten Methode der Berechnung der Stabilität der Gewölbe, wird die nothwendig erforderliche Gewölbedicke zwar willkürlich angenommen und durch fortgesetzte Proberechnungen zuletzt genau bestimmt; allein diese Arbeit ist immer sehr weitläufig und um diese nicht zu sehr dem Zufalle und der Willkür zu überlassen, kann man sich mit Vortheil der empirischen Formel bedienen, welche Perronet aus seinen Beobachtungen abgeleitet hat. Bezeichnet nämlich e die gesuchte Dicke der Wölbung im Scheitel in Metern, d den Abstand der Widerlager, so ist die Formel

$$e = 0{,}0347\, d + 0{,}325.$$

Diese Formel giebt aber bei größern Werthen von d zu starke Dicken, weshalb man dieselbe auch nur bei geringern Weiten in Anwendung bringen kann und zwar bei solchen, wo d nicht über 25 Meter beträgt. Bei größern Weiten verlangt Perronet zur Höhe des Schlußsteins $^1/_{24}$ der Bogenweite. Doch ist diese Stärke auch selbst von Perronet nicht immer eingehalten; so beträgt z. B. die Höhe des Schlußsteins an der Brücke von Orleans $\frac{1}{15{,}3}$ der Bogenweite; dagegen beträgt bei den Brücken zu Neuilly und Mantes die Höhe des Schlußsteins $^1/_{24}$ der Bogenweite. Bei der Kaiser Franzens-Brücke in Carlsbad ist die Gewölbdicke am Scheitel sehr nahe $^1/_{30}$ ihrer Spannweite. Bei ältern Brücken, als der im Jahre 1454 über die Allier bei Vielle Brionde erbauten Brücke beträgt die Stärke des Gewölbes im Scheitel, bei einer Spannung von 167 Fuß, $^1/_{42}$ der Spannung; ferner bei der von Staix bei Grenoble unweit Tournon ist die Gewölbdicke bei

einer Spannweite von 140 Fuß nur $1/_{46}$ derselben; bei dem mittlern Bogen der Marmorbrücke in Florenz, welcher 100 Fuß Spannweite hat, beträgt die Gewölbdicke gar nur $1/_{65}$ der Weite. Vergleicht man diese Abmessungen mit obigen Bestimmungen, so ist augenfällig, daß die aus letztern hervorgehenden viel zu stark ausfallen. Allein wenngleich diese Beispiele auch zu der Behauptung berechtigen könnten, daß, wenn Brückengewölbe nicht die gewünschte Solidität gewähren, selten die Ursache in der zu geringen Stärke der einzelnen Theile, wohl aber in der fehlerhaften Ausführung und in schlecht fundirten und zu schwach angelegten Widerlagern zu suchen ist, die zwar keinen Bezug auf die dem Gewölbe gegebene Stärke haben, und doch einen höchst entscheidenden Einfluß auf den soliden Bestand desselben ausüben, so möchten wir doch nicht eine Nachahmung dieser Beispiele empfehlen, trotzdem, daß sich diese Brücken seit Jahrhunderten standhaft erwiesen haben.

Jedenfalls wird es am zweckmäßigsten sein, sich von der Perronet'schen Bestimmung nicht zu weit zu entfernen.

Beim Bau der hannoverschen Eisenbahnen hat man für Brückengewölbe folgende Normaldimensionen eingeführt.

Bezeichnet e die Gewölbstärke, d die Spannweite, h die Höhe im Lichten des Gewölbes, so wird für Halbkreisbögen und Stichbögen bis $1/_3$ Pfeilhöhe,

$e = 3/_4 + 1/_{16}\, d$ bei Ausführung mit festen Backsteinen; und

$e = 3/_4 + 1/_{32}\, d$ bei Ausführung mit Quadern.

Ferner bei Bögen von geringerer Pfeilhöhe als $1/_3$,

$$e = 3/_4 + \frac{1}{48}\,\frac{d}{h} \text{ bei Backsteinen, und}$$

$$e = 3/_4 + \frac{1}{96}\,\frac{d^2}{h} \text{ bei Quadern;}$$

Alles in hannoverschen Fußen ausgedrückt. Kommt jedoch auf die Brücke eine hohe Erdschüttung, so wird dem entsprechend e etwas größer angenommen.

Bei Anwendung von Quadersteinen stimmt die obige Formel $e = 3/_4 + \frac{1}{32}\, d$ ziemlich genau mit der Annahme Perronets; bei Backsteinen erhält man dagegen einen bedeutend größern Werth, was auch in sofern richtig ist, als hier wegen der größern Anzahl Fugen der Bogen weit stärker zusammengepreßt wird, also bei Entfernung des Lehrgerüstes eine größere Bewegung erleidet.

Es läßt sich auch aus der rückwirkenden Festigkeit des Steins und aus dem Horizontaldruck, den beide Gewölbehälften gegen einander ausüben, die nöthige Gewölbedicke berechnen; allein diese Bestimmung ist immer eine unsichere, da der Druck beider Gewölbehälften sich nicht gleichmäßig über die ganze Höhe e der Schlußsteinfuge verbreitet, sondern das Bestreben des Wölbstückes ab (Fig. 502) sich um den Punkt a zu drehen, macht den Druck am innern Punkte des Schlußsteins gleich Null, während er am äußern Punkte desselben ein Maximum ist, sobald das Gewölbe gerade im Gleichgewicht oder kurz vor dem Einsturz ist. Allein da in der Wirklichkeit die Gewölbe immer

einen Ueberschuß an Stabilität erhalten, und deshalb sich keine Fuge öffnet, wenn dies nicht als Folge der Zusammendrückung des Mörtels geschieht, von welchem Umstande hier aber abgesehen wird, so darf man den Druck auf die obere oder untere Kante der Fugen nicht mehr gleich Null annehmen, sondern man muß voraussetzen, daß sich der Druck in der ganzen Höhe der Fugenebenen vertheilt, wenn auch ein geringerer Theil auf die Kante kommt, wo sich die Fuge öffnen würde, wenn das Gewölbe einstürzen könnte.

§. 16. Von der Mittellinie des Drucks bei einem Gewölbe.

In neuerer Zeit hat man auch die Beantwortung der Gleichgewichtsfragen durch die Betrachtung einer sogenannten Mittellinie des Drucks oder Stützlinie zu gewinnen gesucht. Denkt man sich z. B. das Gewölbe aus vielen auf einander gestellten schiefen Prismen zusammengesetzt, so ist, wenn sich diese Zusammenstellung im Gleichgewichte halten soll, erforderlich, daß der horizontale Druck in allen Winkelpunkten derselbe sei, wie am obersten Punkte, der senkrechte Druck am Ende jedes Prisma's aber aus dem Gewichte aller vorhergehenden Prismen bestehe. Je kleiner nun die Länge der Prismen angenommen wird, um so näher kommt die Zeichnung einer krummen Linie. Da es aber sehr schwierig sein würde, aus einem so kleinen Winkel, als in diesem Falle der Schlußstein mit dem Horizonte bildet, auf die Stellung der übrigen Gewölbsteine zu schließen und so die vielen Winkel zu bestimmen, nach welchen alle übrigen Gewölbsteine aufgestellt werden müßten, so bedient man sich hierzu der Theorie der krummen Linien und der Methoden, nach welchen dieselben mit der nöthigen Genauigkeit verzeichnet werden können. In derselben Weise, wie man sich bei einer Zusammenstellung vieler Prismen auf einander, die im Gleichgewichte sind, eine Linie denken kann, an welcher die Prismen oder deren Gewichte als hängend zu betrachten sind, läßt sich nun auch, wenn das Gewölbe sich in seiner Lage erhält, also im Gleichgewicht ist, eine Linie innerhalb der Masse des Gewölbes denken, welche wir Mittellinie des Drucks oder Stützlinie nennen, an welcher die Gewölbsteine oder ihre Gewichte als hängend zu betrachten sind.

Da aber die Stabilität eines Gewölbes erfordert, daß seine Stärke, so wie auch die seiner Widerlager größer seien, als das statische Gleichgewicht es nothwendig erfordert, und da ferner, wenn ein Gewölbe im Gleichgewichte ist, die Drucke aller Punkte, auf welche Weise sich auch über jeder Fuge der Druck zwischen den verschiedenen Punkten vertheilen mag, wie schon oben erwähnt, eine einzige Resultante geben, die an einem Punkte der Fuge wirkt, so ist klar, daß die Stützlinie unendlich viele verschiedene Stellungen annehmen kann, ohne daß es möglich wäre, die eigentliche Stützlinie des Gewölbes zu bestimmen, und dieses noch um so weniger, da ihre Lage noch von dem Senken des Gewölbes abhängig ist, welches aber nicht vorher genau zu bestimmen ist. Außerdem treten noch manche andere Umstände ein, die eine solche Bestimmung erschweren.

Nehmen wir nun an, in dem Halbgewölbe Figur 504 sei nx die Richtung des Horizontalschubes, welcher in n seinen Angriffspunkt hätte, so wird, wenn man das Gleichgewicht in Bezug auf eine beliebige Fuge ef untersucht und den rechts von ef liegenden Theil als fest annimmt, jedenfalls Gleichgewicht gegen Drehung vorhanden sein, wenn die Resultante kr aus dem Horizontalschube des Gewölbes und allen Kräften, welche auf den links von ef liegenden Theil wirken, zwischen den Punkten e und f liegt. Bezeichnet man nun den Punkt, in welchem die Fuge ef von der Resultante kr getroffen wird und eben so die analogen Punkte für alle folgenden Fugen, die man sich einander immer möglichst nahe zu denken hat, so bilden diese Punkte eine fortlaufende Curve, welche die oben erwähnte Mittellinie des Druckes oder die Stützlinie des Gewölbes ist. Hieraus folgt nun schon unmittelbar, daß wenn diese Stützlinie irgendwo aus der Gewölbemasse heraustritt, das Gewölbe nicht mehr im Gleichgewicht ist. Berührt nun diese Stützlinie die innere oder äußere Wölblinie, so ist wohl noch Gleichgewicht vorhanden, dieses wird aber bei der geringsten Veranlassung gestört und der Bruch des Gewölbes erfolgt zunächst in denjenigen Stellen, welche den Punkten gegenüber liegen, in denen die innere oder äußere Wölblinie von der Stützlinie berührt wird. Dagegen wird die Stabilität eines Gewölbes um so größer, je mehr sich die Stützlinie der mittlern Wölblinie nähert.

Nunmehr wollen wir zur Construction der Mittellinie des Drucks übergehen. Hat das Gewölbe eine größere Stärke, als zum mathematischen Gleichgewichte erforderlich ist, so lassen sich, wie schon oben angeführt wurde, viele Mittellinien des Drucks zwischen die äußere und innere Wölblinie einzeichnen, ohne daß man vorher wüßte, welche von diesen Linien zur Wirksamkeit kommen würde, indem dies bei Ausführung des Gewölbes vom Setzen desselben abhängt, dessen Einfluß sich aber nicht vorher bestimmen und genau berechnen läßt. Sobald nun aber zwei Punkte dieser Stützlinie bestimmt oder gegeben sind, so läßt sich dieselbe ohne große Schwierigkeiten construiren.

Nehmen wir z. B. auf der Ebene des Gewölbeanfangs (Fig. 504) den Punkt m, der wegen seiner Entfernung vom Punkte b in der Stützlinie liegen zu müssen scheint, und auf der senkrechten Fuge cd den Punkt n, der vermöge seiner Entfernung vom Punkte c ebenfalls in der Stützlinie zu liegen scheint, so ist zu ermitteln, da, wie angenommen die Stützlinie durch die Punkte m und n geht, in welchen Punkten dieselbe die Fugen ef, hi u. s. w. treffen wird. Um diese Punkte nun zu bestimmen, verfährt man wie folgt. Man berechnet das Gewicht des Gewölbstücks cdba und bestimmt die Lage des Schwerpunktes desselben. Es sei nun KG die Senkrechte, die durch diesen Schwerpunkt geht und die Horizontale nx in K schneidet. Zieht man dann Km, nimmt KS proportional dem Gewichte des Gewölbstücks cdba, zieht ferner SR ⧣ Kx und RS ⧣ KS, so erhält man das Parallelogramm KSRP, in welchem KP dem horizontalen Druck (Horizontalschube) und die Diagonale dem Totaldruck auf die Fuge ab proportional ist. Nun bestimme man ferner das Gewicht des Wölbstücks cdfe und daraus den Schwerpunkt; es sei kg eine senkrechte Linie,

welche durch den Schwerpunkt dieses Wölbstücks geht; nimmt man dann ks proportional mit dem Gewichte dieses Wölbstücks, kp gleich dem Horizontalschube KP und construirt das Parallelogramm ksrp, so ist die Diagonale kr dem Totaldruck auf die Fuge ef proportional und es ist dann der Punkt o, wo sie diese Fuge ef trifft, einer der Punkte der gesuchten Stützlinie. Auf dieselbe Weise erhält man den Punkt q der Fuge hi, wenn man den Schwerpunkt des Wölbstücks cdhi sucht und in derselben Weise verfährt, wie beim Wölbstück cdef. Auf solche Weise lassen sich dann alle übrigen Punkte der Stützlinie bestimmen.

Verlängert man kr bis t, so ist, da kg″ = KG′, und ferner sr = SR ist,

$$\tang g''tk : \tang G'mK = \frac{g''k}{g''t} : \frac{G'K}{G'm} = \frac{1}{g''t} : \frac{1}{G'm}.$$

Es ist aber ferner $\tang srk : \tang SRK = \frac{ks}{sr} : \frac{KS}{SR} = ks : KS = cdfe : cdba$

und da $\tang g''tk : \tang G'mK = \tang srk : \tang SRK$ ist,

so hat man auch $\frac{1}{g''t} : \frac{1}{G'm} = cdfe : cdba.$

Wollte man nun nicht den Punkt n als gegeben ansehen, sondern irgend einen andern Punkt n′, so müßte man einen Punkt t so bestimmen, daß der vorstehenden Proportion Genüge geschieht. Die zu ziehende Linie tn′ würde dann die Verticale sg in einem Punkte k schneiden, durch den eine Horizontale gelegt wird, in welcher der gesuchte Punkt n liegt.

Hat man bei dieser Bestimmung der Stützlinie die Punkte m und n schlecht gewählt, so zeigt sich dieses bald, denn die Curve, welche man erhält, geht über die gehörigen Grenzen hinaus, und man erhält entweder ein Widerlager von unmäßiger Dicke, oder die Stützlinie nähert sich zu sehr den äußern Enden der Brechfugen, wodurch ein zu schwaches Widerlager erhalten wird. Es ist aber nicht schwierig, einen solchen Fehler zu verbessern und eine neue Construction zu machen, da man die Bestimmung des Gewichts und des Schwerpunktes der einzelnen Gewölbstücke nur einmal vorzunehmen braucht.

Denkt man sich ferner für die Fuge ab Fig. 505 den Druck, welcher hier mit p bezeichnet werde, im Punkte g wirksam, so muß das Gewölbe durch den Druck p und die im Scheitel wirkende horizontale Kraft P im Gleichgewicht erhalten werden; auf einer jeden der andern Fugen a′b′, a″b″ u. s. w. giebt es nun auch Punkte g′, g″ u. s. w., die analog mit g sind, und welche Punkte, wenn man sie mit einander verbindet, ebenfalls eine Curve bilden, die, wie oben erwähnt, die Stützlinie heißt. Geht diese Curve nun an der Spitze des Gewölbes, so wie an dem Punkte b der innern Wölbung und an dem Punkte A vorbei, so beweist dieses, daß das Gewölbe sich an der innern Wölbung im Punkte C, an der äußern in der Fuge ab zu öffnen und das Widerlager sich um die äußere Kante A zu drehen strebt. Wenn aber diese Stützlinie die Punkte C, b, A nicht erreicht, aber sich denselben, wie die Figur zeigt, nähert, so ist dieses ein Beweis, daß diese Punkte die schwächsten Stellen der Wölbung sind.

Da nun die Resultante aller Drucke, die auf die Fuge ab wirken, durch den Punkt g geht, in welchem die Stützlinie die Fuge ab durchschneidet, so wirkt die Hälfte der Composanten von p auf den Theil bg, der Widerstand leisten muß, ohne dadurch zerstört zu werden. Ueber die Art und Weise, wie sich der Druck auf einer Fuge vertheilt, ist man durchaus nicht im Klaren, wie dieses schon oben angedeutet wurde; im Allgemeinen wird aber angenommen, daß wenn er in b ein Maximum ist, er im Verhältniß zu der Entfernung von diesem Punkte abnimmt und zwar so, daß wenn der Druck in g ein mittlerer ist, er im Punkte h, der $hg = 2gb$ giebt, Null wird. Wird nun der totale Druck durch die Fläche eines Dreiecks dargestellt, dessen Höhe hb sei, dessen Schwerpunkt g und dessen Grundlinie durch k bezeichnet werde und proportional mit dem Maximum des Drucks in b sei, so wird an jedem andern Punkte der Druck durch eine Parallele dargestellt, welche an diesem Punkte mit der Grundlinie des Dreiecks gezogen ist. Da nun der Druck k im Punkte b die Grenze nicht überschreiten darf, welche die rückwirkende Festigkeit des Steins gestattet, so folgt, daß der Theil bg im Stande sein muß, eine Last $= k \cdot bg$ zu tragen, und da ferner der Totaldruck auf der Fuge $ab = k \cdot \frac{3}{2} bg$ ist, so geht hieraus hervor, daß bg im Stande sein muß, $^2/_3$ der Gesammtlast der Fuge ab tragen zu können.

Da ferner der Druck nach der Tangente der Stützlinie ausgeübt wird, so giebt diese Curve auch noch durch ihre Neigung die Punkte an, wo das Gleiten zu befürchten ist. Es wird daher Gleichgewicht gegen Gleiten in Bezug auf eine bestimmte Fuge vorhanden sein, wenn der Winkel, unter welchem die Mittellinie die Fuge schneidet, größer ist als der Reibungswinkel für das Material der Gewölbsteine, und die Stabilität eines Gewölbes wird desto größer je mehr sich der Winkel, unter welchem die Mittellinie des Drucks die einzelnen Fugen trifft, einem rechten Winkel nähert.

Ist endlich das Gewölbe hintermauert oder sonst belastet, so bestimmt man das Gewicht und den Schwerpunkt jedes einzelnen Gewölbstückes, indem man annimmt, jedes Gewölbstück habe denjenigen Theil der Belastung zu tragen, welcher sich vertical darüber befindet.

Für die praktische Ausführung ist es aber nicht hinreichend, daß die Widerlagsmauer nur gerade so viel Stabilität besitze, als zur Aufrechthaltung des Gewölbes erfordert wird. Es ist daher bei jeder größern Brückenanlage nothwendig, wenn man sich dieser hier angegebenen Methode der Auffindung der Gewölbstärken bedient, daß man den Zug der Mittellinie des Drucks bis zum tiefsten Punkte des Fundaments verfolge, um sich zu überzeugen, ob dieselbe auch das Fundament in derjenigen Fläche durchschneidet, welche dem Letztern zur Grundlage dienen soll. Ist dieses nicht der Fall und würde die verlängerte Mittellinie das Fundament nicht durchschneiden, so würde dasselbe jedenfalls ein Bestreben haben, sich um die äußerste Kante zu drehen und ein Einsturz des Gewölbes herbeigeführt werden, wenn der Seitendruck der umgebenden Erde oder einer sonstigen Masse nicht stark genug wäre.

Da diese Bestimmung der Stützlinie auf constructivem Wege erfolgt, so hat man, um diese Arbeiten gehörig ausführen zu können, den Bauriß nach einem großen Maßstabe anzufertigen, welcher gleichzeitig auch bei Bestimmung der Bruchfuge von Vortheil sein kann.

Weitere Ausführungen über die Bestimmung der Stützlinie findet man in Schuberts Theorie der Construction steinerner Brücken und in Gerstner's Handbuch der Mechanik Bd. I. Eben so in Moseley mechanische Principien der Ingenieurkunst und Architektur.

§. 17. Ueber die Widerlager und Pfeiler der Brücken.

Die Widerlager dienen dazu, dem horizontalen Druck eines dagegen gestützten Bogens zu widerstehen, und geht demnach daraus hervor, daß dieselben, wenn der Bogen einen sichern Stand haben soll, eine solche Stärke erhalten müssen, daß sie dieses zu thun vollkommen im Stande sind.

Besteht nun das Ufer, auf welchem ein solches Widerlager herzustellen ist, aus einer festen Felsenmasse von übrigens hinreichender Ausdehnung, so ist keine weitere Befestigung desselben erforderlich, sondern sie würde im Gegentheil nur unnütz und zweckwidrig sein, es sei denn, daß eine Verengerung der Durchflußöffnung nothwendig würde. Ist dieses Letztere aber nicht der Fall, so hat man den Felsen nur gehörig auszubrechen, um dem Gewölbebogen ein angemessenes Lager zu verschaffen. Besteht aber das Ufer nicht aus einer solchen Felsenmasse, sondern aus Erdreich oder weichem Boden, der sich nun entweder schon gehörig abgelagert hat oder erst frisch aufgeschüttet worden ist, so muß schon ein künstliches Widerlager hergestellt werden, und von solchen Widerlagern soll hier die Rede sein.

Bei der Anlage eines Widerlagers hat man zweierlei zu berücksichtigen und zwar erstlich den horizontalen Bogenschub und ferner den Druck der dahinter liegenden Erde. Man geht zwar bei der Construction der Widerlagspfeiler nicht selten von der Ansicht aus, daß durch den Druck des Erdreichs dem Bogenschub das Gleichgewicht gehalten werde. Hiernach brauchte der Widerlagspfeiler nur im Ganzen schwach zu sein und überhaupt keine große Standfähigkeit gegen einseitigen Druck zu besitzen; allein es tritt hierbei dann der so sehr nachtheilige Umstand ein, daß, da der Erddruck nie so beständig ist, als der Bogenschub, die Spannung aller Bögen, die mit dem Widerlager in Verbindung stehen, eine größere wird, sobald der Druck des aufgeschütteten Bodens gegen das Widerlager wächst. Es kann aber auch der Druck des Erdreichs gegen den Widerlagspfeiler geringer werden, was dann ebenfalls wieder zum Nachtheil der Bogenspannung stattfindet, sobald der Widerlagspfeiler keine gehörige Stabilität besitzt. Auch kann bei bedeutendem Erddruck und hohen Pfeilern sehr leicht der Fall eintreten, daß, wenn der Widerlagspfeiler zu schwach ist, dieser an seinem untern Ende zum Ausweichen gebracht wird. Um daher alle Nachtheile, die daraus entstehen können zu vermeiden, muß man den Widerlagspfeilern eine solche Stärke geben, daß sie sowohl für

den einseitigen größten Bogenschub, als auch für den einseitigen größten Erddruck völlig ausreichend sind.

Wir können nun zur Bestimmung der Stärke der Widerlager die in den vorhergehenden §§. angegebenen Lehren für die verschiedenen Fälle benutzen. Die so gefundene statische Dicke vermehrt man dann zur größern Sicherheit um so viel, daß unter der Annahme, es sei ein gleicher Druck auf $^2/_3$ der ganzen Grundfläche ausgeübt, man weder eine Senkung des Bodens noch eine Zerstörung der Steine zu befürchten hat. Oder man multiplicirt auch die gefundene statische Dicke mit einem Coëffizienten, der gleich 1,38 oder 1,40 ist. Diese so gefundene Stärke der Widerlagen wird dann, namentlich bei größern Brücken mit flachen oder verdrückten Bögen dem Erddruck einen genügenden Widerstand entgegen setzen. Bei kleinern Brücken mit hohen Widerlagspfeilern würde aber die hierdurch bestimmte Stärke der Widerlager nicht ausreichend sein und dem Erddruck nicht genügend widerstehen können; man bestimmt daher in solchen Fällen die Stärke der Widerlager so, daß sie dem Erddrucke vollständig widerstehen können und wobei dann der Bogenschub, als bedeutend geringer, außer Acht gelassen werden kann. Ueber die Formen der Widerlagspfeiler soll weiter unten noch Mehreres angeführt und durch Beispiele näher erläutert werden.

Was die Dicke der Pfeiler betrifft, so sind in Bezug auf diese Bestimmung die größten Brückenbaumeister noch schwankend.

Bei der Bestimmung der Dicke derselben hat man zweierlei in Betracht zu ziehen; man kann entweder die Mittelpfeiler so ansehen, als vertreten sie die Stelle von Stirnpfeilern, oder es muß angenommen werden, daß der auf dieselben wirkende Seitenschub des einen Bogens durch den des nächstfolgenden wieder aufgehoben wird.

Der erste Fall findet statt, wenn die Bögen einzeln nach einander aufgeführt werden sollen; hier müssen natürlich die Pfeiler dieselbe Stärke erhalten als die Widerlags- oder Stirnpfeiler, damit sie im Stande sind, dem einseitigen Bogenschub widerstehen zu können. Allein durch eine solche bedeutende Vermehrung der Stärke der Mittelpfeiler wird das Flußbett im hohen Grade eingeengt und die Möglichkeit einer Auswaschung am Fuße der Pfeiler, so wie auch die Höhe des Aufstaues vor der Brücke sehr bedeutend befördert werden, was aber außer der großen Verschwendung an Material sehr bedeutende Unzulässigkeiten mit sich führen wird, so daß also eine überflüssige Verstärkung der Mittelpfeiler in sofern nicht zur größern Festigkeit der Brücke beiträgt, sondern dadurch nur andere weit gefährlichere Zustände hervorgebracht werden. Bei vielen alten Brücken machte man die Bögen sehr klein und voll oder gedrückt, und gab den Zwischenpfeilern eine solche Stärke, daß sie zugleich als Widerlager der einzelnen Bögen dienten, wodurch aber das Flußbett sehr eingeschränkt wurde, wie dieses sowohl bei der Elbbrücke in Dresden, als auch bei der Brücke zu Regensburg und mehrern ähnlichen Brücken sich genügend gezeigt hat. Der eigentliche Zweck der Verstärkung der Mittelpfeiler ist wohl hauptsächlich darin zu suchen, daß, falls ein Pfeiler einstürzte, dieser Einsturz nicht die Zerstörung der ganzen Brücke zur Folge haben sollte. Allein um dieses

zu erreichen, müssen die Pfeiler schon eine sehr bedeutende Stärke haben, was aber bei den wenigsten Brücken in diesem Maße der Fall ist.

Im zweiten Falle muß der Pfeiler so stark sein, daß er vollkommen im Stande ist, das Gewicht der zwei Hälften der Bögen auf beiden Seiten zu tragen, ohne von der Last zerdrückt zu werden. Es ist daher vor allen Dingen nothwendig, daß man die rückwirkende Festigkeit der Steine untersucht, welche zu dem Bau verwendet werden sollen. Allein es ist nicht genug, daß der Pfeiler gegen Zerdrücken sicher sei, sondern er muß auch noch die zu erwartenden Eisstöße auszuhalten vermögend sein. Perronet giebt nun eine Regel an, welche, wenngleich er dieselbe nicht bei allen von ihm ausgeführten Brücken angewendet hat, doch sicher immer ausreichen wird, zumal wenn man die Fundamente der Pfeiler gehörig breit anlegt und dadurch den Pfeilern eine größere Stabilität giebt. Er sagt nämlich: — da die Wölbsteine, welche den größten Druck auszuhalten haben, im obern Theile des Gewölbes liegen und bei größern Bogenweiten diese eine Höhe gleich dem 24sten Theil der Bogenweite erhalten (vorausgesetzt, daß die rückwirkende Festigkeit des Materials dieses zuläßt), und jeder Mittelpfeiler zwei halbe Gewölbe trägt, so genügt es, daß jeder Mittelpfeiler die doppelte Höhe des Schlußsteins zur Stärke bekomme und zu größerer Sicherheit gegen Eisgänge noch $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$ dieser Stärke mehr erhalte.

Bei geringern Bogenweiten würde man, ebenfalls nach Perronet, unter Bezugnahme der oben angeführten Formel zur Bestimmung der Stärke der Gewölbe, für die Stärke der Mittelpfeiler erhalten, wenn s dieselbe bezeichnet und d den Abstand der Widerlager in Metern

$$s = \frac{7}{3}(0{,}0347\, d + 0{,}325).$$

Beim Bau der hannoverschen Eisenbahnen hat man auch für die Widerlager und Mittelpfeiler Normaldimensionen angegeben, und zwar sind diese folgende. Bezeichnet a die Stärke des Widerlagers und h seine Höhe; ferner d die Spannweite, so ist allgemein

$$a = 1 + \frac{1}{6} h + \frac{d}{8}\left(\frac{3d - h}{d + h}\right) \text{ (in Fußen ausgedrückt);}$$

ferner wird die Stärke der Mittelpfeiler angegeben zu 1 Fuß plus der doppelten Gewölbestärke, welche Stärke jedoch bei hohen Pfeilern, und bei stattfindendem Eisgange noch zu vergrößern ist. Bei stillstehenden Gewässern genügt diese Stärke vollständig, sobald aber Eisgänge stattfinden ist es doch sicherer, sich der Annahme von Perronet zu bedienen, indem dieselbe in solchem Falle sicher genügt.

Man hat endlich auch in Vorschlag gebracht, um den Nachtheil der Verengerung des Flußbettes und folglich einer zu kleinen Durchflußöffnung zu vermindern, Widerlagspfeiler, wie im ersten Falle angedeutet, nur von zwei zu zwei und selbst auch von drei zu drei Bögen anzubringen, um beim Einsturz eines Pfeilers zu verhindern, daß dieser nicht den Einsturz der ganzen Brücke nach sich ziehe. Hat man nun eine genügend große Durchflußöffnung und erhält die Brücke eine bedeutende Länge, also viele Bögen, so ist eine solche Anordnung jedenfalls sehr zweckmäßig, zumal in solchem Falle auch die Brücke an und für sich dadurch eine größere Stabilität erlangt.

Verz

einiger der merkwürdigsten Brücken in Europa mit Ang

Name und Stelle der Brücke.	Zeit der Erbauung.	Name des Baumeisters.	Form der Bögen
Brücke Fabricius in Rom	602	Fabricius	
Brücke Aelius oder Engelsbrücke in Rom	138	Messius Rusticus	
Brücke St. Marie zu Paris	1658	Marie	
Brücke des Tetes über die Durance	1732	Hauriana	
Brücke Ceret bei Perpignan	1336	—	
Brücke Semur über den Armençon	1780	Dumorey	
Brücke Rumilly über den Cheran	1785	Garilla	
Brücke Maligny über den Serin	—	Werbruge	
Brücke bei Regensburg über die Donau	1135	—	
Brücke bei Dresden über die Elbe	1260	Fotius	
Brücke zu Castellane über den Verdon	1404	—	
Brücke Vieille Brionde über den Allier	1454	Grenier und Estone	
Brücke St. Esprit über den Rhonefluß	1265—1309	—	
Brücke bei Tournon über den Doux	1545	—	
Brücke von Claix bei Grenoble	1611	—	
Brücke über den Taf in England	1756	Edward	
Brücke zu Trilpont über die Marne	1764	—	
Blackfriarsbrücke zu London	1760	Mylne	
Nydeckbrücke in Bern	1841—1844	—	
Bedeckte Brücke zu Florenz über den Arno	—	—	
Fleischbrücke zu Nürnberg	1598	Carle	
Brücke Maixence über die Oise	1785	Perronet	
Brücke Concorde zu Paris	1792	Perronet	
Brücke Jena zu Paris	1815	Lamandé	
Brücke Rosoy über den Hyères	1787	Perronet	
Brücke Brunoy über den Hyères	1787	Perronet	
Brücke von Pesmes über den Ougnon	1772	Bertrand	
Brücke bei Pordenone über die Meduna	1842	—	
Brücke über den Bergstrom Fella	—	—	
Brücke über den Wildbach Venzonassa	—	—	
Brücke bei Beraun über die Beraun	—	—	
Brücke über den Neckar bei Cannstatt	—	—	
Brücke bei Mantes über die Seine	1765	Hupeau u. Perronet	
Brücke zu Tours über die Loire	1762	Bayeux	
Brücke zu Navilly über den Doubs	1780	Gauthey	
Brücke Chauvanes über die Saône	1787	Gauthey	
Brücke zu Moulins über den Allier	1760	Régemortes	
Brücke zu Nogent über die Seine	1769	Perronet	
Brücke zu Neuilly über die Seine	1774	Perronet	
Brücke zu Saumur über die Loire	1764	Voglie	
Brücke bei Chateau=Thierry über die Marne	1765	Perronet	
Marmorbrücke zu Florenz	—	Michel Angelo	
Brücke über den Dora Riparia bei Turin	1831	Mosca	
London=Brücke über die Themse	1831	John Rennie	
Grosvenorbrücke über den Dee	1833	Hartley	

…chniß

…er Größe und der Verhältnisse ihrer wesentlichsten Theile.

	Spannweite der Bögen in Fußen.	Höhe der Bögen in Fußen.	Höhe des Schlußsteins in Fußen.	Dicke der Widerlager in Fußen.	Dicke der Mittelpfeiler in Fußen.	Höhe der Pfeiler über dem niedrigsten Wasser in Fußen.	
2	78′	39′	5′	25′	30′	5′	
3	56′	28′	4′	28′	—	5′	
5	42′ und 55′	21′ u. 27,5′	4′	25′	11′	13′	
1	116′	58′	4′ 5″	—	—	—	
1	139′	69′ 6″	5′	—	—	—	
1	72′	36′	3′	10′ 6″	—	5′	
1	120′	60′	5′	—	—	10′	
1	80′	40′	2′ 10″	11′ 5″	—	—	
3	57′	28′ 6″	3′	19′	19′	4′	
8	68′	34′	6′	38′	28′	—	
1	84′ 8″	28′	4′	—	—	—	
1	167′ 6″	64′	4′	43′	—	—	
9	76′—107′	42′	2′	30′	25′ 6″	—	
1	147′	61′	2′ 6″	—	—	—	
1	140′	51′	3′	21′	—	—	
1	140′	35′	3′ 6″	—	—	—	
3	72′—75′	26′—27′	4′ 6″	18′	15′	27′	
9	70′—92′	38′	6′ 4″	37′	18′ 6″	6′	
3	55′—153′	25′—61′	4′—5′	14′—19′	55′ 4″	—	
3	90′	18′	5′	27′	22′	11′ 6″	
1	95′	14′	4′	40′	—	—	
3	72′	6′	4′ 6″	18′	6′ 9″	8′	
5	72′—88′	10′—9′—6′	3′—4′	48′	9′	18′	
5	86,2′	10′ 2″	4′ 5″	30′	9′ 3″	18′ 6″	
2	24′	3′	2′ 6″	12′	6′	—	
3	18′	2′ 5″	2′	10′	3′ 6″	—	
3	42′	3′ 8″	2′ 6″	12′	7′	10′	
8	63,6′	10,6′	3,8′	—	12,72′—15,9′	—	Rheinl. Maß.
3	108,12′	15,9′	4,77′	—	20,67′	—	desgl.
3	39,75′	6,36′	2,226′	12,72′	7,95′	—	desgl.
6	84′	13′ 3″	4′ 3″	36′—42′	12′	—	
5	65′	6′ 5″—8′	3′ 6″	—	9′	—	
3	108′—120′	32′—36′	6′	27′	24′	3′	
15	75¼′	26′	5′	—	15′	6′	
5	72′	24′	1′	19′	15′	5′	
7	40′	14′	2′	20′	14′	7′	
13	60′	20′	3′	36′	12′	3′	
1	90′	27′	5′	18′	—	—	
5	120′	30′	5′	30′	13′	—	
12	60′	20′	4′ 6″	15′	12′	4′	
3	48′—54′	20′	3′6″—3′9″	14′	13′ 6″	4′	
1	130′	28′	2′	10′	—	—	
1	142,46′	17,5′	4,74′	—	—	—	Rheinl. Maß.
5	147,23′	36,57′	4,83′	—	—	—	desgl.
1	194,35′	40,78′	3,89	—	—	—	desgl.

§. 18. Allgemeine Schlußbemerkungen.

Obige Tabelle, welche größtentheils aus Wiebeking's Werk entnommen ist, liefert nun die Verhältnisse von einer nicht unbedeutenden Anzahl alter, so wie auch neuerer Brücken. Bei den ältern Brücken finden wir zwar auch die Widerlagsdicken zum größten Theil angegeben, es läßt sich aber erwarten und annehmen, daß diese Angaben nicht vollkommen richtig sind, indem erstlich ein genaues Nachmessen nicht hat stattfinden können, ferner aber die Beschreibungen solcher Bauten in ältern Werken in Betreff solcher Angaben nicht immer genau, sondern häufig sogar sehr ungenau sind. Setzen wir daher auch diese Angaben außer Frage und betrachten solche namentlich bei den neuern Brücken, wobei man die angegebenen Dimensionen als richtig voraussetzen kann.

Was nun zuerst die Höhe des Schlußsteins betrifft, so haben wir oben gesagt, daß für Weiten von nicht über 25 Meter zur Bestimmung der Höhe desselben der Ausdruck $e = 0{,}0347\,d + 0{,}325$, und für größere Weiten $^1/_{24}$ der Spannweite angenommen werden könne.

Macht man von diesen Bestimmungen Anwendung bei den in der Tabelle angeführten Brücken, so ergiebt sich diese Regel als vollkommen sicher, wenngleich zwar bei mehrern der oben angeführten Beispiele nach obiger Bestimmung die Höhe des Schlußsteins geringer, dagegen bei andern wieder größer ausfällt.

Was die Stärke der Widerlager betrifft, so ist die Bestimmung derselben ebenfalls für die Stabilität des Bogens, wie dies auch schon aus dem Vorhergehenden folgt, einer der wichtigsten Gegenstände. Es wurde bereits erwähnt, daß bei der Anlage eines Widerlagers zweierlei, nämlich der Bogenschub und der Erddruck zu berücksichtigen sei. Wird dagegen dieses unterlassen und das eine oder das andere unberücksichtigt gelassen, so kann sehr leicht ein größerer Seitendruck von einer Seite her entstehen, wodurch eine veränderte Stellung des Widerlagers hervorgebracht werden kann, und zwar kann dann der Seitendruck in folgender Art auf dasselbe wirken:

1) Es kann dasselbe unter Voraussetzung eines vollkommen festen Zusammenhanges das Mauerwerk auf seiner Sohle verschoben werden. Ein solches Verschieben kommt nun wohl selten oder fast nie vor und nur in dem Falle würde man das Eintreten einer solchen Bewegung erwarten können, wenn der Mörtel in den Lagerfugen noch nicht erhärtet ist und die Mauer auf einer in der Richtung des größern Seitendrucks geneigten Richtung steht. Wenn nun auch nicht in dieser Art, so kann doch ein Verschieben stattfinden, indem das Fundament der Mauer durch den größern Druck ebenfalls mit verschoben wird, welcher Fall nicht so selten und auch schon mehrere Male vorgekommen ist. Oder

2) es kann dasselbe einer Drehbewegung ausgesetzt werden, welcher Fall noch leichter sich ereignen kann. Ist z. B. der Erddruck größer als

der Bogenschub und hat das Widerlager nicht die Stabilität, diesen größern Erddruck vollkommen aufzuhalten, so wird die Folge davon sein, daß der Bogen zusammengedrückt wird, oder findet das Entgegengesetzte statt, so wird die Pressung des Bogens das Widerlager nach auswärts schieben. In beiden Fällen wird aber ein Einsturz oder doch jedenfalls ein baldiger Ruin des Bauwerks entstehen.

Diese beiden Fälle zeigen sich vornehmlich, so lange noch das Mauerwerk frisch und der Mörtel noch nicht getrocknet ist und also das Mauerwerk noch nicht den gehörigen innern Verband hat. Nichts desto weniger wird aber auch dieses eintreten bei völlig ausgetrocknetem Mauerwerk, sobald die einzelnen Theile nicht eine solche Stärke erhalten, daß sie allen Seitenwirkungen vollkommen Widerstand zu leisten im Stande sind.

Eine sehr wesentliche Verstärkung kann man den Widerlagern noch dadurch geben, daß man sie innerhalb mit Strebepfeilern versieht, wie dies an vielen Brücken auch ausgeführt ist. Diese Strebepfeiler, deren 3 bis 4 anzubringen sind, erhalten dann die Höhe des Widerlagers; ferner die Dicke desselben zur Länge und werden so breit, daß die Summe ihrer Breite etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ der ganzen Länge des Widerlagers beträgt. Will man aber diese Strebepfeiler nur deshalb anlegen, um an Mauerwerk zu ersparen und werden demnach die Widerlager nicht voll, sondern hohl, so versteht sich von selbst, daß ein solches Widerlager eine solche Ausdehnung und eine solche Verbindung der einzelnen Mauertheile haben muß, daß dasselbe nicht allein dem Bogen- so wie auch dem Erddruck widersteht, sondern auch als ein Ganzes angesehen werden kann, wo ein einzelner Theil sich nicht verschieben oder verändern läßt. Wir werden die verschiedenen Formen der Widerlagspfeiler noch weiter unten berühren.

Nicht selten kommen auch Bögen von ungleicher Spannweite bei sonst gleicher lichter Höhe in einer und derselben Brücke vor. In diesem Falle entsteht, wie schon aus der Natur der Sache hervorgeht, ein ungleicher Seitendruck auf die Mittelpfeiler, wo dann aber hinsichtlich der Bestimmung der Dicke der Mittelpfeiler ein verändertes Verfahren eintreten muß. Nimmt man das Mauerwerk zwischen den beiden Bögen von ungleicher Spannweite als völlig dicht nach horizontaler Richtung an, so entsteht eine Differenz zwischen dem Seitendruck des größern Bogens und dem des kleinern, welche aber als Schub übrig bleibt und unbedingt auf den kleinern Bogen übergeht und dessen Schub, so wie auch seinen Scheiteldruck eben so groß macht als der des größern Bogens ist. Ein Theil dieser Differenz wird nun zwar von dem Mittelpfeiler selbst aufgenommen werden, aber nicht das Ganze, es müßte denn sein, daß der Mittelpfeiler eine solche Stärke hätte, daß er als Widerlager dem größern Bogen schon allein genügen würde; in diesem Falle würde der Schub sich nicht auf den kleinern Bogen fortpflanzen. Um nun diesem daraus entstehenden Umstande gehörig zu begegnen, muß man nothwendig die Stärke des kleinern Bogens eben so groß machen als die des größern Bogens im Schlußstein, weil durch die Fortpflanzung des Schubs des größern Bogens auf den kleinern der Scheitelpunkt dieses letztern eben so groß wird als der des größern Bogens. Sehr zweckmäßig ist es aber auch ferner, daß man unter solchen Umständen

die Mittelpfeiler noch mehr vergrößert als es unter sonst gleichen Umständen bei Bögen von gleicher Spannweite geschehen würde und zwar in dem Maße, daß außer der sonst nothwendig erforderlichen Stärke der Mittelpfeiler um so viel stärker werde, daß diese Mehrstärke hinreichend ist, dem Ueberschuß des Schubs des größern Bogens Widerstand zu leisten.

Betrachten wir nun ferner die in der Tabelle angeführten Stärken der Widerlager, so ersehen wir daraus, daß diese sehr verschieden sind und daß man sie bei Halbkreisbögen und Kreisbogenstücken bis sogar zu $1/7$ der Spannweite gemacht hat. Daß hierbei die Höhe der Widerlager, so wie auch die Beschaffenheit des Bodens, gegen welchen dieselben sich stützen, jedenfalls bedeutend berücksichtigt werden müssen, versteht sich von selbst. Aber wenngleich mehrere derartige Brücken mit solchen schwachen Widerlagern vorhanden sind und sich auch als fest bewährt haben, so erscheint es dennoch nicht rathsam, hiervon eine unbedingte Anwendung auf andere Fälle zu machen, sondern wenn man einmal die Widerlagsdicke ganz empirisch oder nach schon vorhandenen Beispielen bestimmen will, so wähle man lieber solche Beispiele, bei denen man voraussetzen kann, daß sie sich auf den vorkommenden oder vorliegenden Fall auch durchaus anwenden lassen. Uebrigens geht man immer genügend sicher, vorausgesetzt, daß der Bogenschub größer als der Erddruck ist, wenn man bei Halbkreis- oder nur wenig gedrückten Kreisbögen $1/5$ der Spannweite zur Widerlagsdicke annimmt. Sind die Kreisbögen bis $1/4$ verdrückt, so nehme man $1/4$ der Spannweite zur Dicke an. Diese Stärke wird auch genügen für Korbbögen, die bis zu $1/3$ verdrückt sind. Bei stärker verdrückten Bögen nehme man aber $2/7$ der Spannweite zur Dicke der Widerlager an. Erhalten ferner die Widerlager eine bedeutende Höhe, so ist auch hierauf Rücksicht zu nehmen und kann man dieselbe dann durch Strebepfeiler, im Innern der Mauer angebracht, verstärken. Diese eben angeführte Bestimmung findet aber nur dann, wie schon oben gesagt wurde, Anwendung, wenn der Bogendruck größer als der Erddruck ist. Bei kleinern Brücken z. B. würde diese Bestimmung der Widerlager nicht genügend sein, denn nimmt man z. B. eine Spannweite von 24 Fuß an, so würde die Stärke der Widerlager sich hier kaum zu 7 Fuß ergeben, welches Maß aber jedenfalls viel zu schwach ist, um dem Erddruck bei nur einiger Höhe der Widerlager widerstehen zu können. In solchen Fällen ist es sicherer, das Widerlager als Futtermauer zu betrachten und hiernach die Stärke zu bestimmen. Ueberhaupt je kleiner die Brücken sind, desto mehr muß man von den hier angegebenen Verhältnissen abweichen.

Wir haben zwar hier in Betreff der Widerlagsstärken diese auf rein empirischem Wege bestimmt, damit soll aber keineswegs ausgedrückt werden, daß wir eine theoretische Bestimmung derselben verwerfen, im Gegentheil halten wir es für durchaus nothwendig, daß beim Entwurfe einer Brücke die Abmessungen derselben und die Stärke der einzelnen Theile auf theoretischem Wege bestimmt werden, und hat man dann die Resultate solcher Berechnungen mit schon vorhandenen gut und tüchtig ausgeführten Beispielen zu vergleichen und darnach zu modificiren. Eine solche Vergleichung ist um so mehr nothwendig, da scharfe theoretische Bestimmungen selten ohne Umsicht zu gebrauchen sind,

indem zu mancherlei Umstände obwalten, die nicht in die Rechnung aufgenommen werden können, bei der spätern Ausführung aber nothwendig berücksichtigt werden müssen.

§. 19. Die Dicke der Gewölbsteine.

In §. 13 haben wir die Höhe des Schlußsteins und dadurch also auch gleichzeitig die Stärke des Gewölbes bestimmt. Es kommt nunmehr noch darauf an, die Dicke der einzelnen Steine näher zu bestimmen.

Bestimmte Gesetze, nach welchen unter allen Fällen die Dicke der Gewölbsteine angenommen werden kann, lassen sich durchaus nicht aufstellen, erstlich würde diese Arbeit eine durchaus nutzlose sein, ferner aber hängen die Dimensionen der Wölbsteine hauptsächlich von denen der Steine ab, die man zur Verfügung hat. Langsdorf bestimmt zwar die Dicke der Wölbsteine $= 8 + \frac{3\,w}{H + h}$, wo w die Spannweite, H die Höhe des Bogens und h die Höhe des Schlußsteins bezeichnet. Dieser Ausdruck ist zwar nach den Abmessungen der Steine an der Brücke zu Neuilly bestimmt, allein er ist dennoch wenig anwendbar und findet auch im Vergleich zu vielen ausgeführten Brücken wenig Bestätigung. Sehen wir z. B. die Angaben von Brücken durch, welche Wiebeking im dritten Bande seiner Wasserbaukunst giebt, so geht daraus hervor, daß man die Steine in denjenigen Stärken benutzt hat, wie sie gebrochen werden können, und daß diese Stärken zwischen 12 bis 42 Zoll betragen haben. Es geht hieraus also deutlich hervor, daß die Stärke der Gewölbsteine durchaus nicht nach festen Regeln bestimmt werden kann. Nichts desto weniger ist aber die Stärke (Dicke) der Wölbsteine in sofern auf die Stabilität des Gewölbes von Einfluß, als, da bei einerlei Gewölbdicke die Centriwinkel der Fugenschnitte größer werden, je dicker die Steine sind und also auch der Unterschied zwischen der äußern und innern Dicke sich vergrößert, dadurch das Drehen der Wölbsteine um ihre Kanten mehr verhindert wird.

Anderntheils ist aber auch noch zu berücksichtigen, daß die Sandsteine oder Quadersteine, welche zum Brückenbau verwendet werden, an ihren Flächen nie so genau bearbeitet werden können, daß auf denselben nicht einige Erhabenheiten bleiben. Diese werden nun zwar mit Mörtel umgeben, welcher in die Fuge kommt; da aber die Ausrüstung gemeiniglich früher geschieht als der Mörtel fest ist, so entsteht eine starke Pressung, unter welcher der Mörtel in den Fugen nachgiebt und die einzelnen Erhabenheiten auf den Fugenflächen der Steine alsdann den ganzen Druck aufzuhalten haben. Ist dann der Wölbstein nicht sehr dick, so ereignet es sich leicht, daß er dadurch gesprengt wird. Es muß daher bei Anwendung von Sand- oder Quadersteinen zu Wölbsteinen immer berücksichtigt werden, daß die Dicke derselben im Verhältniß zu ihrer Höhe steht und muß man sich in dieser Beziehung einzig an die vorhandenen Beispiele gut gebauter Brücken halten.

Sehr gut lassen sich auch Backsteine zu Brückengewölben anwenden, wenngleich diese nur sehr dünn sind. Man hat dieselben nicht allein vielfach bei kleinern, sondern auch bei sehr großen Brücken, z. B. bei der Etschbrücke bei Verona, welche eine Spannweite von 145 Fuß hat, angewendet. Bei dem Backsteingemäuer geht der Mörtel eine innigere Verbindung mit den Steinen ein und erhärtet auch schneller als bei dem Gemäuer aus Werkstücken, weshalb auch dann im ersten Falle der Mörtel beim Ausrüsten des Gewölbes eine weit größere Widerstandsfähigkeit zeigt, als im letztern Falle. Uebrigens ist die hier benannte Brücke nicht die einzige große Brücke, welche aus Backsteinen erbaut ist, sondern man findet auch in England mehrere große Brücken, die aus demselben Material aufgeführt sind.

Siebentes Capitel.

Die Ausführung des Baues einer steinernen Brücke.

---

§. 20. Allgemeines.

Bei der Ausarbeitung eines Brückenplanes, welche der Ausführung natürlich immer vorangeht, hat man nach dem Bisherigen folgende Hauptpunkte in Betracht zu ziehen:

1) die Stellung oder Lage der Brücke;
2) die Lichtweite derselben und die Größe der Bögen;
3) die Form der Bögen;
4) die Dimensionen der verschiedenen Theile der Brücke; und
5) die Art und Weise des Baues.

Was die Stellung oder Lage der zu erbauenden Brücke betrifft, so ist diese gewöhnlich schon durch die Lage des Weges bestimmt, welcher durch den Fluß oder durch einen Thaleinschnitt durchschnitten wird und dessen Theile durch die zu erbauende Brücke mit einander in Verbindung gesetzt werden sollen. Dieses ist jedoch nicht immer maßgebend, denn es kann manchmal vorkommen, daß, wenn man diese Lage innehalten will, dadurch die Ausführung des Baues sehr erschwert oder auch bedeutend vertheuert wird. Es kann z. B. die Brücke dadurch eine schiefe Stellung gegen den Stromstrich erhalten, oder es kann auch der Fall eintreten, daß die Wege, welche durch eine Brücke verbunden werden sollen, mit hohen Auffahrtsdämmen versehen werden müssen, um zu dem Niveau zu gelangen, in welchem man die Brücke anzulegen genöthigt ist; oder es kann auch vorkommen, daß der Baugrund an dieser Stelle sehr schlecht ist

und die Befestigung desselben eine zu bedeutende Vermehrung der Baukosten hervorruft.

Bei den Brücken auf gewöhnlichen Fahrstraßen oder Chausseen kann man diese eben erwähnten Punkte in sofern häufig mit Vortheil berücksichtigen, daß man den Weg nach ober= oder unterhalb dieser Stelle verlegt und dann an dieser neuen Stelle die Brücke legt, wobei man dann nur nöthig hat, die Richtung der Straße in unmittelbarer Nähe der Brücke zu verändern, oder wie es sonst am vortheilhaftesten erscheint. Auch selbst in Städten läßt sich dieses nicht selten mit Vortheil ausführen, wenngleich es hier schon bedeutend schwieriger ist, indem die Straßen mit Häusern besetzt sind. Dagegen bei Eisenbahnen können derartige Umstände durchaus nicht berücksichtigt werden, sondern es ist hier der Brückenbau der übrigen Anlage untergeordnet. Die nähere Bestimmung der Lage einer Brücke, mit Ausnahme der Eisenbahnbrücken, bleibt daher nicht selten dem Ermessen des Ingenieurs überlassen und hat derselbe demnach, ehe er sich zu irgend einem festen Entschlusse bestimmt, genaue Untersuchungen darüber anzustellen, wie und in welcher Art die Vortheile der einen oder andern Stelle überwiegend sind.

Was die Breite der Brücke betrifft, so ist davon zwar schon im zweiten Theile die Rede gewesen; allein die dort aufgestellten Bestimmungen können hier nicht in der Art angewendet werden, wie bei den hölzernen Brücken, denn es liegt hier nicht die Fahrbahn, wie bei den hölzernen Brücken unmittelbar auf dem Oberbau, sondern um die Fahrbahn herzustellen, muß das Gewölbe zunächst mit Erde und dann mit einem Steinpflaster bedeckt werden, welches sich aber gegen die Stirnmauern stützt. Die Stärke der Stirnmauern hat man also zunächst der erforderlichen Breite der eigentlichen Brückenbahn zuzusetzen. Diese Stärke muß aber um so bedeutender werden, je länger und schmäler die Brücke ist, indem die zusammengepreßte Erde durch schweres Fuhrwerk belastet und mit Feuchtigkeit geschwängert, sie um so mehr aus einander zu drängen strebt. Im Uebrigen können die obigen Bestimmungen auch hier Anwendung finden, nur muß das eben Gesagte dabei gehörig berücksichtigt werden.

Die ferner erwähnten in Betracht zu ziehenden Punkte 2, 3 und 4 sind in den vorhergehenden §§. besprochen und finden in der Art hier volle Berücksichtigung.

Nachdem nun die Wahl der Brückenstelle getroffen und unter Berücksichtigung aller Localumstände und nach dem Vorhergehenden alle Grund= und Profilrisse in möglichst großen Maßstäben gezeichnet sind, so muß man zunächst genaue Nachrichten über die Entfernungen, Eigenschaften und Preise der erforderlichen zum Bau zu verwendenden Materialien einziehen. Ist man über die Festigkeit der Materialien noch in Zweifel oder ist dieselbe noch nicht genügend erprobt, so hat man damit gehörige Versuche über die Festigkeit, so wie über ihre Dauer in der Luft, im Wasser und in der Kälte anzustellen. Diese Versuche müssen mit großer Genauigkeit und Sorgfalt angestellt werden.

Ferner müssen auch genaue Untersuchungen des Grundes auf der Baustelle selbst vorgenommen werden und zwar nicht an einer Stelle, sondern an verschiedenen Stellen. Selbst bei einem Pfeiler oder einer Widerlagsmauer muß man

den Grund an verschiedenen Stellen untersuchen, damit man eine möglichst genaue Kunde von der Beschaffenheit desselben erhalte. Hiernach läßt sich dann das Verfahren bestimmen, welches zur Befestigung des Grundes erforderlich ist; eben so läßt sich erst nach solchen genauen Voruntersuchungen ein ziemlich annähernd richtiger Kostenanschlag der Gründungsarbeiten anfertigen. Nicht selten finden im Verfolg solcher Voruntersuchungen und bei fortgesetztem Nachdenken darüber, wesentliche Veränderungen des schon entworfenen Projectes statt, und wenngleich dann die bis dahin ausgearbeiteten Projecte auch größtentheils bei Seite gelegt werden und somit die dazu erforderlich gewesene Arbeitszeit mehr oder weniger nutzlos geworden ist, so ist dieses dennoch immer besser, als wenn mangelhafte Voruntersuchungen angestellt wurden und während des Baues dann wesentliche Veränderungen des einmal beschlossenen Projectes vorgenommen werden müssen. Diese sind gewöhnlich mit Zeitaufwand und nicht selten auch mit sehr bedeutenden Kosten verbunden.

Desgleichen hat der Baumeister sich auch über die Geübtheit der in der Nähe der Baustelle wohnenden Handwerker, so wie über die Zahl der in der Umgegend zu habenden Tagelöhner zu unterrichten. In größern Städten findet man sowohl geübte Handwerker, als auch Tagelöhner in hinreichender Auswahl, so daß darüber keine weitern Schwierigkeiten entstehen können. Werden aber in entferntern Gegenden, die weniger volkreich sind, solche oder ähnliche größere Bauwerke aufgeführt, so muß schon bei Anfertigung des Kostenanschlags darauf Rücksicht genommen werden, und zwar in sofern, daß von Seiten der Baubehörde dann für ein gutes Unterkommen der Bauarbeiter in der Nähe der Baustelle Sorge getragen wird, was aber immer mit Kosten verknüpft ist. Diese Mehrkosten sind jedoch nur scheinbar und kann man sich dieselben sehr gut gefallen lassen, indem die Vortheile, welche man davon hat, überwiegend sind. Diese Vortheile bestehen nun namentlich darin, daß man die Leute fortwährend in der Nähe der Baustelle und unter steter Aufsicht hat, welcher Vortheil namentlich dann sehr hervortretend ist, wenn die Arbeiten rasch gefördert werden sollen. Man erbaut zu diesem Zwecke leichte Häuser aus Fachwerk und richtet in denselben eine oder mehrere gemeinschaftliche Kochstellen ein; diese Häuser dienen als Logirhäuser und gewähren gleichzeitig während der Essenszeit den Arbeitern ein Obdach.

Zieht man es aber vor, die Arbeiten in Entreprise zu übergeben, so sind vorher auch genaue Ueberschläge anzufertigen, und kann man dann die Materialien besonders, und eben so auch das Tagelohn für die verschiedenen Arbeiten mit verschiedenen Lieferanten und Unternehmern, oder auch das Ganze mit einem Einzelnen verdingen. Beides hat seine Nachtheile und seine Vortheile, die wir aber hier nicht weiter aus einander setzen wollen, indem sicherlich schon jeder Baumeister, bei Ausführung von Arbeiten, die von verschiedenen Handwerkern geliefert wurden, die Erfahrung darüber gemacht haben wird.

Bei solchen Arbeiten aber, wie Wasserarbeiten, wo es gar nicht möglich ist, einen genauen Kostenanschlag anzufertigen, indem mancherlei vorher gar nicht zu berücksichtigende Umstände eintreten können, entsteht die Frage, — ob es zweckmäßig ist, die verschiedenen Arbeiten in Entreprise zu geben, oder

nicht. — Da nun auch der Unternehmer nicht im Stande ist, einen genauen Anschlag der Kosten anzufertigen, aber bei der Uebernahme der verdungenen Arbeiten gezwungen ist, diese nach Vorschrift auszuführen, so ist es ganz natürlich, daß derselbe die höchsten Preise ansetzen wird. Treten dann während des Baues einige Veränderungen ein, so wird auch dafür wieder ein neuer Kostenanschlag gemacht und die Baubehörde ist gezwungen, die geforderte Summe zu bewilligen. Ist nun die Witterung dem Unternehmer günstig, so wird er jedenfalls sehr bedeutend dabei gewinnen können; findet aber das Gegentheil statt, so wird derselbe auf irgend eine Weise seinem Schaden nachzukommen suchen, ohne daß dieses selbst bei der schärfsten Aufsicht immer zu verhindern sein möchte.

Uebernimmt die Baubehörde selbst die Lieferung der Arbeiten, so kommt im erstern Falle der Nutzen dem Staate zu, im zweiten Falle aber wird immer noch der Vortheil erreicht, daß die Arbeit durchweg gut ausgeführt wird. Uebrigens sind hierüber die Meinungen noch sehr verschieden und überlassen wir es dem Ermessen der Einzelnen, was sie für das Beste und Zweckmäßigste halten. Wir sind jedenfalls der Ansicht, daß es im Allgemeinen zweckmäßiger ist, solche große Bauten nicht einzelnen Unternehmern in Accord zu übergeben, sondern nur bei Lieferungen des Materials und solcher Gegenstände, die der Unternehmer nicht verändern oder verfälschen kann, dieses Verfahren anzuwenden.

Nachdem wir diese allgemeinen Andeutungen vorangeschickt und in Bezug darauf noch besonders auf das im zweiten Theile darüber Gesagte hinweisen, wollen wir nunmehr zur Ausführung der steinernen Brücken selbst übergehen.

§. 21. Von den Grundarbeiten.

Ist der Bauplan nach den vorher angestellten Untersuchungen festgestellt und die Lage der Brücke bestimmt, so ist die nächste Arbeit das Abstecken des Bauprojects. Die Art und Weise dieser Arbeit ist bereits im zweiten Abschnitt beschrieben, worauf daher in dieser Beziehung verwiesen wird. Die nächste Arbeit, die nun nach Absteckung des Bauprojects vorgenommen wird, ist das Ausgraben des Grundes für die verschiedenen Fundamente. Dasselbe ist nach der verschiedenen Festigkeit des Grundes und nach der Tiefe, welche die Baugrube erhalten muß, mehr oder weniger kostbar. Leichte Erde, Sand und dergleichen braucht nicht erst aufgehackt zu werden, sondern kann mit der Schaufel gleich ausgesteckt und aufgeworfen werden. Dasselbe findet auch statt bei feuchtem Thon oder Lettengrund. Ist dagegen der Boden steinig, so kann man denselben nicht mit der Schaufel ausgraben, sondern es muß derselbe vorher losgehackt werden. Besteht der Grund aus Felsen, so müssen Schlägel, Keile und Brecheisen angewendet werden; sind aber in diesem Falle große Massen wegzuarbeiten, so würde das Bearbeiten mit den eben erwähnten Geräthschaften eine zu lange Zeit der Arbeit erfordern, und man wendet dann das Sprengen mit Pulver an, wobei aber immer ein Nacharbeiten wieder stattfinden muß.

Da nun bei Brückenbauten der Raum meistentheils sehr beschränkt ist und die Baugrube nicht größer gemacht werden darf als eben nothwendig erforderlich ist, so muß man die Erde absatzweise ausgraben lassen, um ein Abstürzen derselben möglichst zu vermeiden, weil sonst dadurch nicht allein die in der Grube beschäftigten Arbeiter beschädigt werden können, sondern auch viele unnütze Arbeit verrichtet werden muß. Diese Absätze werden etwa 6 bis 7 Fuß hoch und wird die Erde mit Schaufeln von einem auf den andern Absatz und so weiter aus der Baugrube gefördert, wo sie dann mit Wagen oder Karren weiter verfahren wird. Daß die Arbeit in diesem Falle, und namentlich wenn die Fundamente eine größere Ausdehnung erhalten, sehr zeitraubend ist, ist leicht einzusehen. Es ist daher, wenn man genügend Raum hat, jedenfalls vortheilhafter, daß man Auffahrten stehen läßt, denen man höchstens $1/_{12}$ Steigung giebt. Diese Auffahrten haben dann zweierlei Zweck und zwar dienen sie einmal dazu, die Erde am Abstürzen zu verhindern, ferner aber wird auf denselben die Erde mit Schubkarren herausgefahren. Später dienen auch diese Auffahrten wieder dazu, das Baumaterial zuzubringen. Ist aber der Raum der Baugrube so sehr beschränkt, daß man nicht die erwähnten Absätze anordnen kann, so ist man schon gezwungen, um das Abstürzen der Erde zu verhindern, die Wände der Baugrube mit Holz abzustützen, welche Arbeit aber immer sehr zeitraubend und kostbar wird.

Die herausgeförderte Erde wird auf Schubkarren oder Wagen weiter verfahren. Sind nun mehrfache Dammarbeiten gleichfalls zu beschaffen, so läßt sich manchmal sehr zweckmäßig ein Theil der herausgeförderten Erde zu diesen Arbeiten benutzen. Ist dies aber nicht der Fall, sondern müssen die Ufer sogar noch abgetragen werden, so ist es jedenfalls am vortheilhaftesten, daß man die ausgegrabene Erde ganz fortbringen läßt, sobald man sich vergewissert hat, daß aus dem Abtrag der Ufer ein solches Quantum Erde wieder erhalten wird, als erforderlich ist, um die Hinterfüllung wieder vollständig beschaffen zu können. Was den Transport der Erde betrifft, so ist darüber schon im ersten Abschnitte §. 79 das Nöthige angeführt, worauf in dieser Beziehung verwiesen wird.

Bei dem Aufgraben des Grundes kommen nicht selten auch andere Gegenstände als alte im Grunde steckende Pfähle, im Grunde liegende Steine oder Baumstämme vor, die ebenfalls beseitigt werden müssen, welche Arbeiten aber nicht selten mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden sind. Hierüber ist bereits im ersten Abschnitte §. 46 das Nöthige angeführt.

Ist nun die Baugrube in der gehörigen Ausdehnung und Tiefe hergestellt, so wird das Bauwerk selbst genau abgesteckt, um darnach die Fundationsarbeiten beschaffen zu können. Bei diesen Fundationsarbeiten sind nun folgende zwei Umstände zu berücksichtigen; erstens, ob der Grund eine solche Festigkeit habe, daß derselbe ohne zusammengedrückt zu werden, die Last des Gebäudes mit Sicherheit tragen könne; und zweitens, ob der Grund vom Wasser angegriffen und unter dem Fundamente weggespült werden könne. Beide Umstände müssen wohl berücksichtigt und aufs sorgfältigste erwogen werden, indem die Standfähigkeit der Brücke davon größtentheils abhängt. Denn wird die Brücke

in ihren übrigen Theilen auch noch so vorzüglich ausgeführt und man hat auf das Fundament nicht die gehörige Sorgfalt verwendet, so entstehen, sobald der Grund unter der Last zusammengedrückt oder durch das Wasser gar fortgespült wird, ungleiche Senkungen einzelner Theile, die sehr leicht den Einsturz des ganzen Bauwerks, wenigstens eine baldige Zerstörung desselben zur Folge haben können.

Wir haben bereits im ersten Capitel des ersten Abschnitts die verschiedenen Gründe klassificirt und wollen hier ganz in der Kürze das Nöthige noch einmal darüber anführen. Felsboden ist zwar der festeste unter allen Baugründen und entspricht nach Maßgabe seiner verschiedenen Festigkeit und der Mächtigkeit desselben den beiden oben angeführten Rücksichten. Allein es kommt nicht selten vor, wie z. B. bei allen Schieferarten, thonartigen Sandsteinen und dergleichen, daß sie bedeutend der Verwitterung unterworfen sind. Haben nun auch die davon vorhandenen Lagen eine hinlängliche Mächtigkeit, worüber man vorher genaue Untersuchungen anzustellen hat, so besitzen sie zwar Tragfähigkeit genug, um der Gebäudelast vollständig zu widerstehen, allein da sie leicht verwittern, so lösen sie sich auch im Wasser auf und können dann mit der Zeit von diesem unter den Fundamenten ausgewaschen werden. Dies findet in einem stärkern Grade statt, wenn der Felsen nicht immer mit Wasser bedeckt, sondern auch zuweilen der Einwirkung der Luft ausgesetzt ist. Bei andern Felsarten, als Porphyr, Granit, Kalk- und Sandstein und andern harten Felsarten ist solches aber nicht so leicht zu befürchten und liefern demnach diese letztern Steinarten, sobald sie in hinlänglicher Mächtigkeit anstehen, jedenfalls einen sichern Baugrund.

Zum guten Baugrunde gehört ferner der reine Kies, in sofern als derselbe nicht vom Wasser angegriffen werden kann und dagegen vollständig geschützt ist. Dasselbe ist auch der Fall bei dem aus Geschieben oder festem Grand bestehenden Boden. So lange diese Bodenarten nicht vom Wasser aufgelockert und treibend gemacht werden, bieten sie bei sonst hinlänglicher Mächtigkeit eine vollständige Sicherheit. Diese Bodenarten entsprechen daher der einen oben angeführten Bestimmung zwar, aber der andern durchaus nicht. Dasselbe findet auch beim reinen Lehm statt; denn hat derselbe eine hinlängliche Mächtigkeit und ist er nicht dem Angriffe des Wassers ausgesetzt, so daß eine Erweichung oder Auswaschung desselben stattfinden kann, so kann man ihn jedenfalls zu den guten Baugründen zählen. Dieser letztere Umstand macht ihn aber beim Wasserbau zu einem schlechten Baugrund, der auf künstliche Weise befestigt werden muß, um obigen Bestimmungen entsprechen zu können. Wir sehen hieraus also, daß nur die harten Felsarten, sobald sie in hinreichender Mächtigkeit anstehen, keiner weitern künstlichen Befestigung bedürfen, dagegen alle andern Bodenarten in einer oder der andern Rücksicht oder auch in beiden künstlich befestigt werden müssen. Um dies aber zweckmäßig und vortheilhaft ausführen zu können, ist eine vollkommene Kenntniß über die geognostische Beschaffenheit des Baugrundes und dessen Umgebung erforderlich, welche man durch angestellte Bohrversuche erlangt, worüber im ersten Capitel des ersten Abschnitts schon das Nöthige gesagt ist.

§. 22. Anordnung und Erbauung der Brückenfundamente.

Um die Tragfähigkeit des Bodens zu vermehren und ihn gegen Unterspülung zu schützen, bietet die Kunst mehrfach Mittel dar.

Will man nur die Tragfähigkeit des Grundes vermehren, so kann dieses häufig schon dadurch erreicht werden, daß man die Last auf eine größere Grundfläche vertheilt, indem man die Fundamente erheblich breiter macht, als das weiter aufzuführende reine Mauerwerk selbst. Hierdurch wird nun die Tragfähigkeit des Bodens selbst nicht vergrößert, sondern man vermindert dadurch nur den Druck auf die Grundfläche, indem durch die Vergrößerung der Grundfläche der Fundamente die Last des Mauerwerks auf eine größere Fläche vertheilt wird und somit der einzelne Quadratfuß der Bodenfläche nicht mehr die Last zu tragen erhält, als dies im entgegengesetzten Falle stattfinden würde. Diese Anordnung ist daher in allen Fällen vortheilhaft und namentlich dann, wenn die Bodenschicht keine sehr große Mächtigkeit hat und in einer Ausdehnung des obern Bauwerks selbst, der Last desselben nicht genügenden Widerstand leisten würde.

Um eine gleichmäßige Vertheilung des gesammten Druckes auf der Grundfläche zu erhalten, hat man mehrfach den Schwellenrost oder liegenden Rost angewendet, dessen in §. 65 des ersten Abschnitts Erwähnung geschehen. Wenngleich es nun auch nicht an Beispielen fehlt, wobei die Anwendung des Schwellenrostes vom besten Erfolg gewesen ist, so läßt sich dennoch nicht immer der Schluß daraus ziehen, daß der Schwellenrost in allen Fällen dem beabsichtigten Zwecke genügend entsprechen würde. In der Natur der Sache liegt es schon, daß man den Schwellenrost nicht so steif machen kann, daß er jeder Biegung, die durch ungleichmäßiges Zusammendrücken des Bodens entsteht, widerstehen kann, und es muß daher, wenn keine ungleichen Senkungen stattfinden, die Ursache davon nothwendig in dem guten innern Zusammenhange des Mauerwerks liegen, und ferner muß auch nothwendig der Boden an sich schon eine gleiche Beschaffenheit haben. Man darf daher in der erwähnten Beziehung sich von dem liegenden Roste nicht zu viel versprechen; es ist aber dennoch nicht zu verkennen, daß er auch wieder im Anfange des Baues einen großen Nutzen gewährt und zwar in sofern, als er verhindert, daß die zuerst verlegten Steine, wenn diese durch den Mörtel noch nicht gehörig verbunden sind, also derselbe noch nicht erhärtet ist, sich nicht einzeln in verschiedenen Tiefen eindrücken können. Diesem wirkt er vollständig entgegen und gerade anfangs, so lange er noch nicht stark belastet ist, zeigt er auch eine hinreichende Steifigkeit.

Ein anderes Mittel, um die Tragfähigkeit des Grundes zu vermehren, besteht darin, daß man das weiche Erdreich ausgräbt, alsdann die Grundfläche mit Steinbrocken (Ziegelsteinbrocken) schichtenweise belegt und diese mit einer verhältnißmäßig schweren Zugramme feststampft. Diese Arbeit muß aber so häufig wiederholt werden, bis die Sohle so fest wird, daß der Rammklotz beim

Niederfallen keinen Eindruck mehr hervorbringt.*) Liegt die Fundamentgrube hoch, ist also das Erdreich nicht stark mit Wasser durchzogen, so erreicht man sehr bald eine genügende Festigkeit des Grundes durch dieses Einstampfen von Bauschutt. Ist aber das Erdreich mit Wasser durchzogen und überhaupt weich, so ist diese Arbeit immer sehr schwierig und es ist alsdann auch sehr viel Steinschutt dazu erforderlich. Es ist aber durchaus nicht genügend, wie man in manchen Lehrbüchern angegeben findet, daß man über die Sohle der Baugrube eine Schicht Steine ausbreitet und diese dann mit einer Handramme einstampft, sondern man muß zum Einstampfen erstlich einen sehr schweren Rammkloß von circa 500 bis 600 Pfd. anwenden und ferner das Aufschütten von Steinschutt und das Feststampfen desselben so lange fortsetzen, bis man eine durchaus feste Oberfläche erhält. Hat man auf diese Weise die Sohle des Fundaments befestigt, so ist ein Zuthun von Béton oder die Anwendung eines Schwellrostes durchaus unnöthig. Durch das Einrammen der Steinschuttmenge wird nicht allein eine Spannung des Bodens nach allen Seiten hin erreicht, sondern es wird auch dadurch eine durchaus feste Schicht von großer Tragfähigkeit hervorgebracht, die unter Umständen noch bessere Dienste leistet als eine Bétonschicht, indem bei letzterer eine gewaltsame Pressung des Bodens nicht stattfinden kann, welche aber bei ersterer in einem um so höhern Grade durch das Einstampfen des Steinschutts hervorgebracht wird.

Statt des Schwellenrostes hat man in neuerer Zeit mit größerm Vortheil die Fundirung auf Béton in Anwendung gebracht. Eine solche Bétonlage, welche nach Verhältniß der Schwere des darauf aufzuführenden Bauwerks eine Stärke von 3 bis 6 Fuß erhält, bewirkt vermöge ihrer Festigkeit, wenn solche vollständig erhärtet ist, daß die Last des Gebäudes sich über die ganze Grundfläche gleichmäßig vertheilt, ohne daß ungleiche Senkungen, die möglicher Weise aus einer ungleichen Beschaffenheit des Bodens herrühren könnten, entstehen. Im achten Capitel des ersten Abschnitts ist das Weitere schon darüber gesagt, worauf wir daher in dieser Beziehung verweisen.

Diese bisher angeführten Gründungsarten entsprechen jedoch nur der einen oben angeführten Bestimmung, nämlich daß der Grund auf eine oder die andere Art befestigt, durch die spätere Belastung nicht weiter zusammengedrückt werde und somit ungleiche Senkungen und in Folge dessen Risse oder gar der Einsturz des Bauwerks nicht entstehen können. Was aber die zweite Bestimmung betrifft, nämlich daß das Erdreich nicht unter dem Grunde durch Wasser fortgespült werde und Auswaschungen entstehen, so wird diesem dadurch in keiner Weise vorgebeugt. Es ist daher durchaus erforderlich, daß man, wenn eine der oben erwähnten Gründungsarten an solchen Stellen angewendet worden ist, welche der unmittelbaren Einwirkung des Wassers ausgesetzt sind, in Betreff dieses Umstandes noch weitere Anordnungen treffen muß, um diese Einwirkungen zu verhindern und unschädlich zu machen. Unterläßt man aber solches, und finden in Folge dessen wirklich Auswaschungen statt, so kann von einer un-

---

*) S. Romberg's Bauzeitung, Jahrgang 1846, p. 214.

gleichen Zusammenpressung des Grundes nicht mehr die Rede sein, sondern es wird dann der Grund im Ganzen nachgeben, indem durch den Druck der Last das unter der Fundirung befindliche Erdreich, zumal da auch Nässe mit hinzu kommt, welche dasselbe aufweicht, in die ausgespülten Stellen gepreßt wird. Hierdurch aber erhält die Fundamentgrabensohle, welche zu Anfang völlig wagerecht lag, nothwendig eine geneigte Richtung, welche Richtung das Fundament des Bauwerks jedenfalls annehmen muß, in Folge dessen dann sicherlich ein Einsturz erfolgen wird. Wir haben daher die Mittel zu untersuchen, durch deren Anwendung diesem vorgebeugt werden kann.

Zunächst kann man eine Spundwand dazu anwenden. Eine solche Spundwand kann, wie im ersten Abschnitt im fünften Capitel weiter beschrieben ist, auf mehrfache Weise hergestellt werden.

Ist die Fundamentgrube vollständig geebnet und in der genügenden Breite ausgegraben, so muß zunächst die Spundwand in der vorgeschriebenen Richtung eingeschlagen werden, und zwar muß die Richtung so gewählt werden, daß dadurch eine Verbreiterung des Fundaments in keiner Weise gehindert werde. Nachdem dann diese Wand vollständig hergestellt ist, schreitet man zur Herstellung des Fundaments, welches jedoch mindestens einen Fuß tiefer als die Oberkante der Spundwand angelegt werden muß, damit das Wasser nicht zu unmittelbar auf die Fundamentsohle einwirken kann. Diese Anordnung ist aber im Allgemeinen nur dann zweckmäßig, wenn nicht Auskolkungen vor den Spundwänden zu befürchten sind. Fänden solche statt, so würde die Spundwand nicht allein dem Angriffe des Wassers ausgesetzt sein, sondern sie würde unmittelbar der Wirkung des innern Druckes des mit schwerem Mauerwerk belasteten Bodens ausgesetzt sein. Dieses würde aber sehr bald dazu beitragen, die Spundwand zu zerstören und in Folge dessen ein Einsturz des Bauwerks erfolgen. Man hat daher in einem solchen Falle zunächst dafür Sorge zu tragen, daß der vor der Spundwand befindliche Boden gegen Auskolkungen vollständig gesichert werde und kann dieses entweder geschehen, daß man Senkwerke davor anbringt oder solide Steinschüttungen herstellt. Den Boden durch Packwerk oder Steinschüttung ohne Anwendung einer Spundwand gegen Unterspülungen und gegen Ausweichen zu schützen, ist unzweckmäßig und würde dadurch der beabsichtigte Zweck nur in geringem Grade und auch nur für eine kurze Dauer erreicht werden.

Was daher die drei oben näher angegebenen Gründungsarten betrifft, so sieht man aus dem Bisherigen, daß es immer eine sehr mißliche Sache ist, diese bei Wasserbauten in Anwendung zu bringen, und daß es jedenfalls im Fall einer Anwendung einer derselben immer einer sehr reifen Ueberlegung bedarf. Ueberhaupt muß man gehörige Mittel haben, um den Grund für alle Fälle gegen Auskolkungen sicher zu stellen und ist man hierzu nicht im Stande, so muß man jedenfalls von diesen Gründungsarten ganz abstehen.

Eine ganz andere Sache ist es mit der Bétongründung; diese kann in beliebiger Tiefe unter Wasser ausgeführt werden. Dieser Umstand ist sehr günstig, denn man kann, sobald die Spundwand eingerammt und vollständig hergestellt ist, die Fundamentgrube bis zu einer hinreichenden Tiefe unter

Wasser ausbaggern und abebnen und darnach die Bétonschüttung hineinbringen. Hierbei können dann die vor der Spundwand entstehenden Auskolkungen auch nicht so gefährlich werden, weil der innere Druck des Bodens gegen dieselbe wegen der größern Tiefe nicht so groß ist, als bei den übrigen Gründungsarten, welche nicht im Wasser selbst, sondern über dem Wasserspiegel oder doch nur in sehr geringer Tiefe unter demselben ausgeführt werden können. Namentlich ist es die Gründung mittelst Rammbéton, welche nur höchstens im Niveau des Wasserspiegels auszuführen möglich ist. Trotzdem aber, daß bei der Gründung mit Béton die Auskolkungen vor der Spundwand bei gehörig tiefer Gründung unter dem Wasserspiegel nicht so gefährlich sind, als bei den übrigen angegebenen Gründungsarten, so darf man dennoch keineswegs unterlassen, solche Maßregeln zu treffen, daß diese Auskolkungen ganz verhütet werden, indem, da die Spundwände nie so dicht zu schlagen sind, die äußern Auskolkungen doch immer im Innern ebenfalls Auskolkungen nach sich ziehen werden. Man hat daher auch bei der Bétongründung die Spundwand äußerlich mit einer soliden Steinschüttung zu umgeben, welche jedenfalls eben so zweckmäßig und wohl noch besser ist, als die Anordnung von Senkfaschinen.

Eine solche Steinschüttung die zur Befestigung der Stromufer und Widerlags- so wie Mittelpfeiler der Brücken hergestellt wird, muß aus um so größern Steinen bestehen, je größer die Geschwindigkeit des Wassers ist, welcher dieselbe zu widerstehen hat. Es eignen sich daher zu solchen Steinwürfen plattenförmige Steine jedenfalls besser als abgerundete oder würfelförmige, indem diese letztern dem Stoße des Wassers eine zu große Fläche im Verhältniß zu ihrer Grundfläche darbieten.

Entstehen dennoch Unterspülungen, so ist es immer sehr schwierig, diesem Uebelstande abzuhelfen. Wir wollen hier nur ein Verfahren anführen, welches Bérigny zuerst versuchte, um unter einem Bauwerke die hohlen Räume durch Einspritzen einer dickflüssigen Masse auszufüllen. Bei der alten Schiffsdocke zu Rochefort hatte das durchdringende Wasser den Grund unter dem Boden derselben ausgespült und es zeigten sich Risse und Versenkungen im Mauerwerke, welche den Einsturz des ganzen Gebäudes befürchten ließen. Berigny füllte diese Höhlungen wieder an, indem er auf ein im Boden ausgeführtes Bohrloch eine ausgebohrte eiserne Röhre von 6 Zoll Weite und 4 Fuß Länge stellte. Die Röhre wurde mit einem dicken Thonbrei angefüllt, worauf der passende Kolben mit der Kolbenstange eingesetzt und letzterer mittelst eines Rammklotzes, der 160 Pfd. wog, eingetrieben wurde. Sobald man auf diese Art nach mehrmaliger Füllung der Röhre kein Material durch das Bohrloch mehr hineinbringen konnte, wurde die Operation bei einem zweiten Bohrloche in etwa dreifüßiger Entfernung vom ersten wiederholt. Bei der Spülschleuse zu Dieppe, wo dieselbe Reparatur erforderlich war, wendete Bérigny statt des Thones schon den Mörtel an.

In den Jahren 1835 und 1836 erfolgte die Ausfüllung des Rostes unter den Pfeilern der Brücke zu Tours in ähnlicher Weise. Die Brückenpfeiler wurden hier ihrer ganzen Höhe nach durchgebohrt, um zu den Höhlungen unter dem Roste gelangen zu können. Das Bohrloch hatte die Länge von 12 Meter

oder 38 Fuß und die Weite betrug $5\frac{1}{2}$ Zoll. Das Eintreiben des Mörtels unter einem starken Drucke, der von oben angebracht wurde, ließ sich wegen des großen Widerstandes in dem langen Bohrloche nicht mehr bewirken, weshalb man einen durchbohrten eisernen Kolben wählte, dessen Ventile nach unten aufschlugen und zwar in der Höhe des Rostes, also unmittelbar über den auszufüllenden Räumen. Dieser Kolben wurde mittelst des Bohrgestänges auf- und abbewegt. Dieser Kolben schob das darüber befindliche Material abwärts und füllte auf solche Art die Höhlungen an. Unter den zehnten Pfeiler der Brücke sollen auf diese Art circa 1123 Kubikfuß Mörtel hinabgebracht sein. Dieser Mörtel war aber vorher nicht zubereitet, weil er in diesem Falle zu schnell erhärtet wäre; man sah sich daher gezwungen, die Bestandtheile desselben besonders zu versenken und bezog sich die beschriebene Operation nur auf den einzubringenden Kalkbrei, während der Sand dazwischen frei eingeschüttet wurde.

Eine Steinschüttung als Fundament zu Brückenpfeilern zu benutzen, ist durchaus nicht rathsam und zwar aus mehrern Gründen. Soll nämlich ein solcher Steindamm als Fundament zu einem Brückenpfeiler dienen, so ist unbedingt nothwendig, daß derselbe eine gehörige Breite erhalte, welche mit der Stärke des später aufzuführenden Pfeilers im Verhältniß stehe; außerdem muß ein solcher Steindamm nach allen Seiten hin eine Böschung erhalten. Es ist nun leicht einzusehen, daß ein solcher Körper eine nicht unbedeutende Ausdehnung erhält und das Flußbett jedenfalls sehr bedeutend einengt. Entstehen dann hierdurch Auskolkungen, so fallen die Steine vermöge ihrer Schwere nach, oder werden auch wohl gar, wenn die Geschwindigkeit des Wassers sehr groß ist, oder bei Eisgängen mit fortgerissen, wodurch dann das Fundament eines solchen Pfeilers gelockert wird und nothwendig der Einsturz des Gebäudes, welches darauf aufgeführt ist, erfolgen muß. Dieses ist namentlich der Fall, wenn das Flußbett aus leicht beweglichen Stoffen besteht. Selbst wenn auch der Grund Felsen oder sehr steiniger und fester Boden ist, der vom Angriff des Wassers nicht leidet, ist ein solcher Steinwurf verwerflich, indem derselbe bei Eisgängen immer bedeutenden Angriffen exponirt ist. Weit zweckmäßiger ist es alsdann, man gründet auf eine Bétonschüttung und umgiebt zum Schutze das Fundament mit einer Steinschüttung.

Scheinen alle diese bisher angeführten Fundirungsarten noch keine hinlängliche Sicherheit darzubieten, um ein vollkommen festes Fundament zu erhalten, oder befindet sich die feste Erdschicht erst in bedeutender Tiefe, welche aber mit den erwähnten Fundirungen nicht zu erreichen ist, so erwählt man den Pfahlrost. Ein solcher Pfahlrost kann nun einmal dazu dienen, eine Verdichtung des Bodens hervorzubringen oder ferner die Last mittelst der eingerammten Pfähle auf eine in der Tiefe befindliche feste Schicht zu übertragen.

Im erstern Falle werden die Pfähle möglichst nahe neben einander eingerammt, ohne daß man sich um ihre regelmäßige Stellung eben sehr bekümmert. Es tritt nun hierdurch zwar anfänglich eine Spannung des Bodens ein, wodurch das Einrammen der letzten Pfähle sehr erschwert wird; diese Spannung hört jedoch nach kurzer Zeit wieder auf, indem die im Grunde entstandene Pressung sich wieder ausgleicht. Eine solche Fundirung bietet daher durchaus

keine Sicherheit und es ist voraussichtlich, daß das Gebäude, sobald es darauf ausgeführt ist, nothwendig Risse bekommen muß, indem ungleiche Senkungen entstehen werden, weil der Grund in welchem die Pfähle stecken weich ist und nur die Reibung zwischen dem Pfahl und der Erde Widerstand leistet. Ist diese Reibung nun an einer oder mehrern Stellen geringer, so werden auch um so eher diese Stellen unter der Last nachgeben.

Im zweiten Falle werden die Pfähle so tief eingerammt, bis sie die in der Tiefe vorhandene feste Schicht erreicht haben und in diese noch mehrere Fuß tief eingedrungen sind. Das oberhalb befindliche Erdreich dient alsdann dazu, die einzelnen Pfähle in ihrer Stellung zu erhalten und am Ausweichen zu verhindern. Dies letztere wird aber auch noch durch den aufgelegten Rost erreicht.

In beiden Fällen ist es aber nothwendig, daß das die Pfähle umgebende Erdreich nicht fortgespült werde, und um dies zu verhüten, ist daher die Anordnung einer dichten Spundwand nöthig, welche so tief reicht, daß keine Unterspülung weiter denkbar ist. Ueber die Anordnung des Pfahlrostes ist in §. 64 des ersten Bandes schon das Nöthige erwähnt, worauf wir daher verweisen.

Nachdem wir hier noch einmal die verschiedenen Gründungsarten, worüber im ersten Bande ausführlich die Rede war, im Allgemeinen erwähnt haben, sollen nunmehr noch einige Beispiele von ausgeführten Brückenpfeilern angeführt werden.

Ein sehr interessantes Beispiel bietet uns die Gründung eines Zwischenpfeilers der Brücke über den Neckar bei Cannstatt dar. Dieselbe ist in Förster's Bauzeitung, Jahrgang 1840, vom Oberbaurath Etzel näher beschrieben und entlehnen wir das Folgende daraus.

Der Grund bestand hier aus zwei außerordentlich harten Steinmassen, welche mit einem ziemlich starken Gefälle von beiden Ufern sich nach der Mitte des Flußbettes zogen. Diese Massen waren in der Mitte des Flußbettes auf einer Breite von etwa 180 Fuß von einander getrennt und der dadurch gebildete Zwischenraum durch die gewöhnlichen Geschiebe angefüllt. Die untere Fläche dieser beiden Felsenmassen, zwar uneben, jedoch im Ganzen wagerecht, ruht etwa 8 bis 10 Fuß unter dem niedrigsten Wasserstande auf einer Schicht blauem Thon von 5 bis 12 Fuß Mächtigkeit, auf welche sodann die äußerst unebene Oberfläche der Muschelkalkfelsen folgt.

Nachdem man nun in Beziehung auf den ersten Landpfeiler sich durch Bohrversuche von der Mächtigkeit der zu Tage liegenden Felsenmasse überzeugt hatte, wurde die Oberfläche derselben auf die in der Zeichnung Figur 506 angegebene Weise stufenförmig für die Aufnahme des Landpfeilers bearbeitet.

Bedeutendere Schwierigkeiten setzten sich der Gründung des ersten Zwischenpfeilers B entgegen. Da sich die Oberfläche der Felsenmasse gegen die Mitte des Flußbettes hin neigte, so behielt dieselbe, da ihre untere Fläche beinahe wagerecht ist, an der Stelle dieses ersten Zwischenpfeilers nur noch eine Mächtigkeit von etwa $7\frac{1}{2}$ Fuß. Nachdem nun die obere Schicht dieser Masse, welche in jeder Richtung zerklüftet war und mit dünnen Thonlagern wechselte,

unter Wasser ausgesprengt war, fand sich bei widerholt vorgenommenen Bohrversuchen die Mächtigkeit der Felsenschichten nicht mehr so bedeutend, daß denselben mit Sicherheit ein Pfeiler von so kleiner Grundfläche hätte anvertraut werden können. Man sah sich daher, um einen zuverlässigen Baugrund zu erhalten, genöthigt, Pfähle anzuwenden. Anstatt aber, um das Einrammen der Pfähle möglich zu machen, die übriggebliebene Felsenmasse vollends auszusprengen, suchte man dieselbe dazu zu benutzen, den Köpfen der Pfähle eine dauernde Verbindung unter einander zu geben und rammte zu diesem Ende die Pfähle durch Löcher ein, welche vorher durch die Felsenrinde gebohrt worden waren. Die hierzu dienende Maschine ruhte auf einem Floß von Bohlen, das durch vier an seinen Enden befindliche Anker in seiner Lage fest gehalten wurde und auf welchen die Stellen der Pfahllöcher bezeichnet waren.

Die Pfähle, deren man sich bediente, waren von Eichenholz, achtkantig beschlagen und hatten 9 Zoll im Durchmesser. Sie waren bis auf eine Fläche von etwa 1½ Zoll zugespitzt, unten mit einem gewöhnlichen eisernen Pfahlschuh von etwa 25 Pfd. und oben mit einem eisernen Ring versehen. Sie wurden durchgängig bis zum Stehen, und zwar so weit eingerammt, bis sie bei 20 Schlägen eines 700 Pfd. schweren Rammklotzes nicht mehr als 6 Linien wichen. Diese Pfähle drangen bis auf eine mittlere Tiefe von 18 Fuß ein. Nach Beendigung dieser Arbeit wurden, da die Zuströmung des Wassers durch die Pfahllöcher äußerst stark war, theilweise Wasserabschläge aufgesetzt, durch Pumpen leer erhalten und die Oberfläche der Felsenkruste, so wie die Köpfe der Pfähle für die Aufnahme der Grundschichten des steinernen Pfeilers horizontal abgeglichen.

Was das Verfahren betrifft, welches bei der Gründung der übrigen Zwischenpfeiler angewendet wurde, so war dies ganz ähnlich, wie das im folgenden Beispiel beschriebene Verfahren, welches bei der Gründung der Brücke über die Enz bei Besigheim angewendet wurde.

Die Gründung der einzelnen Pfeiler dieser Brücke, welche in den Figuren 513—518 dargestellt ist, bietet auch manches Interessante dar und entlehnen wir darüber aus Förster's Bauzeitung, Jahrgang 1839, das Folgende:

Was die Gründung des ersten Zwischenpfeilers betrifft, so bot dieselbe bedeutende Schwierigkeiten dar, indem die Beschaffenheit des Grundes eine derartige war, daß man mit dem Fundamente der Pfeiler bedeutend unter den niedrigsten Wasserstand hinabgehen mußte. Die Enz fließt nämlich dort auf einer Länge von mehrern Hundert Fuß an dem Fuße eines Felsenrückens von Muschelkalk hin, welcher mit einem Anlaufe von etwa 60 Grad sich auf eine Höhe von 180—200 Fuß erhebt und zwischen seinem Fuße und dem Bette des Enzflusses gerade noch der Landstraße Raum giebt. Diese Felsenwand senkt sich etwa auf 16 Fuß unter den niedrigsten Wasserstand der Enz und erstreckt sich von dem ersten Zwischenpfeiler der Brücke an, wo sie diese Tiefe erreicht, ziemlich in horizontaler Richtung weiter. Die gewöhnlichen Geschiebe, welche die Sohle eines Flußbettes bilden, bedecken diese Felsenschicht bis auf etwa 4 Fuß unter dem niedrigsten Wasserstande, sind aber mit einer großen Menge

größerer Felsstücken vermengt, welche nach und nach von dem nebenliegenden Gebirgsrücken sich ablösten und in den Fluß stürzten, wodurch aber die Gründungen der Pfeiler selbst äußerst erschwert wurden.

Die Gründung des ersten Pfeilers (Figur 515) war nun folgende. Die Baustelle wurde, so weit dies mittelst der gewöhnlichen Werkzeuge thunlich war, bis auf die Tiefe des ersten wasserdichten Kastens a geräumt. Dieser Kasten, dessen Seitenansicht in Figur 517 ersichtlich ist, bestand in $7\frac{1}{2}$zölligen Nadelhölzern, welche in ihren Fugen dicht zusammengearbeitet und vertical verschraubt wurden. Die äußern Ecken eines jeden dieser Hölzer wurden gebrochen und die dadurch entstehenden Fugen mit Moos gehörig kalfatert. Durch möglichst genaue Abstiche wurde der Kasten dem Grunde der Baugrube angepaßt, rahmweise auf das Wasser gebracht und durch seine eigne Schwere versenkt. Sobald derselbe auf dem Grunde auffaß, wurde rings um ihn und hart an dessen Seiten eine Spundwand b, b, entweder von schwachen Pfählen oder einer doppelten Reihe dreizölliger Bohlen eingeschlagen, und waren diese Pfähle, um sich während des Einschlagens dichter an die Kastenwände anzuschließen nur an der äußern Seite zugespitzt. Gleichzeitig wurden, hart an die innern Seitenwände des Kastens, senkrechte Hölzer c, c mit Pfahlschuhen versehen, eingeschlagen und auf diese der Kasten mittelst horizontaler, auf Keilen sitzender Streben d, d, gegen den Druck des Wassers und der anzulegenden Umdämmungen, von innen verspannt. An diese Pfähle wurde ferner der Kasten zugleich mit angeschraubt, um ihn gegen das Aufsteigen zu sichern. Hierauf wurde die Umdämmung dieses Kastens hergestellt, indem man zuerst in die Ecken e, e, eine Lage von Wülsten aus Thon und Erbsenstroh, versenkte und unter Wasser mit eisernen Stampfern verdichtete. Der Rest der Verdämmung wurde durch den Abraum der Baugrube gebildet und dieser nachher gepflastert.

In die so vorbereitete Baugrube wurden nun vier Pumpen von Bohlen und einer Lichtweite von 6 Zoll eingesetzt. Mittelst dieser Pumpen wurde die Baugrube wasserfrei erhalten, während die Arbeit des Ausräumens fortdauerte. Da indessen der Felsen sich nicht zeigte, sondern statt dessen eine Schicht von Flußgeschieben, welche bald mit kleinern, bald mit größern Felstrümmern vermengt war, und in eben dem Grade die Arbeit des Ausräumens erschwerte, als sie eine Gründung auf Pfählen als mißlich erscheinen ließ, so sah man sich genöthigt, zu der Anlegung eines zweiten Kastens, innerhalb des ersten zu schreiten und begann zu diesem Ende damit, die verticalen Hölzer f, f einzuschlagen und hinter dieselben, wie es das Vorrücken der Ausräumungsarbeit erforderte, eine zweite Kastenwand in kürzern Stücken von unten einzuschieben. Die Beschwerlichkeiten dieser Arbeit waren aber sehr groß; denn da die Geschiebe, welche die Baugrube umgaben, durchaus keine Festigkeit besaßen, so stürzten sie unter dem Drucke der Umdämmung des Kastens bei jeder Vertiefung der Baugrube nach und das Wasser, welches gegen das Ende der Ausräumungsarbeit, außerhalb des Kastens etwa 20 Fuß höher stand, als der Grund der Baugrube lag, drang mit unwiderstehlicher Gewalt ein. Erst nach Einsetzung einiger weitern Pumpen und nach unsäglichen Anstrengungen, bei einer Arbeit, welche Tag und Nacht fortgesetzt wurde, gelang es endlich den Felsen zu er-

reichen. Da es, nachdem man bis auf diese Tiefe gekommen war, sich als unmöglich herausstellte, die Baugrube ganz wasserfrei zu erhalten, so wurde die erste Quaderschicht des Pfeilers versetzt, indem man die Steine einzeln versetzte und durch Abstiche der Oberfläche des Felsens so viel als möglich anpaßte. Der Mörtel, welcher hierbei angewendet wurde, bestand aus gleichen Maßtheilen von hydraulischem Kalke, Traß und Flußsand. Er wurde, steif bearbeitet, in Kugeln geballt, auf den Grund der Baugrube versenkt und dort verstrichen, worauf dann der Stein gelegt wurde. Sobald die erste Schicht des Pfeilers versetzt war, wurden die einzelnen Steine derselben durch eingelassene eiserne Klammern unter sich verbunden und sodann zur Versetzung der zweiten Schicht mit Anwendung desselben Mörtels geschritten.

So zweckmäßig es nun auch ist, mit dem Fundamente eines Bauwerks bis auf den festen Grund hinabzugehen, so ist es doch nicht empfehlenswerth, die unterste Schicht des Mauerwerks sogleich auf den Felsengrund aufzusetzen, ohne denselben gehörig vorher geebnet zu haben. Durch die Mörtelschicht, welche bei obigem Falle über den Grund ausgebreitet wurde, konnte eine gehörige Abebnung nicht erreicht werden und läßt sich voraussetzen, ja mit Gewißheit annehmen, daß die einzelnen Steine nicht mit ihrer ganzen Grundfläche zur Tracht kommen. Es wäre daher unter allen Umständen vorzuziehen gewesen, wenn man den Felsboden mit einer hinreichend starken Bétonschicht bedeckt und nachdem diese gehörig erhärtet, hierauf die erste Quaderschicht versetzt hätte. Hierdurch wäre jedenfalls eine weit größere Regelmäßigkeit erlangt und es wäre nicht erforderlich gewesen, die einzelnen Steine der unteren Schicht mit einander durch eiserne Klammern zu verbinden, welche Verbindung, sobald die einzelnen Steine kein gehörig abgeebnetes Lager haben und je nach der Wirkung eines Drucks von oben nach der einen oder der andern Seite ausweichen können, immer nur mangelhaft ist.

Die Gründung des zweiten Pfeilers geschah in anderer Weise. Nachdem nämlich zu demselben die Baustelle auf die gewöhnliche Art geräumt worden war, wurde, wie bei der Gründung des ersten Zwischenpfeilers der wasserdichte Kasten a angebracht und dieser in derselben Art, wie oben angegeben, mit einer Spundwand umgeben. Eine zweite Dielenwand war dazu bestimmt, die Umdämmung theils gegen das Abspülen zu schützen, theils um eine noch vollkommenere Verdichtung herzustellen. Da einerseits der Baugrund, wie er sich vorfand, für eine Pfahlgründung tüchtig schien und anderntheils allzu große Opfer erforderlich gewesen wären, wenn man bis auf die Fläche des Felsens auch hier hätte niedergehen wollen, so wurde der Kasten, soweit dieses thunlich war, wasserfrei erhalten und mit dem Einrammen der Pfähle begonnen.

Die Pfähle, deren man sich bediente, waren ihrer Bestimmung und Dimension nach, zweierlei. Diejenigen Pfähle, welche als eigentliche Grund- oder Tragpfähle dienten, hatten einen Durchmesser von einem Fuß und waren an der Peripherie des Pfeilers von Eichen-, nach innen aber von Nadelholz. Sie wurden unten bis auf eine Fläche von $1\frac{1}{2}$ Zoll zugespitzt und mit eisernen Pfahlschuhen, deren jeder 25 Pfd. wog, versehen. Die Pfähle wurden mittelst eines 700 Pfd. schweren Rammklotzes bis zu ihrem muthmaßlichen

Aufsitzen auf der Felsenschicht eingerammt. Zwischen dieselben wurden schwächere Pfähle eingerammt, welche den Zweck hatten, den Grund um die Tragpfähle möglichst zu verdichten. Sie reichten nie, oder doch nur selten bis auf den Felsen.

Sobald die Pfähle alle eingerammt waren, wurde der Grund zwischen denselben, so weit es möglich war, ausgeräumt und innerhalb der Peripheriepfähle ein Rahmen d von eichenen Bohlen angebracht. Die Pfähle wurden hierauf vollkommen genau auf gleiche Höhe abgeschnitten und auf ihren Köpfen platt bearbeitet, und dann die Peripheriepfähle mittelst eiserner Anker, wie in Figur 516 und Figur 518 angedeutet ist, an die innern Tragpfähle angehängt. Endlich wurde unter Anwendung des oben erwähnten Wassermörtels, der ganze Raum innerhalb des Rahmens d dicht ausgemauert, das Gemäuer mit den Pfahlköpfen abgeglichen und sofort zum Versetzen der Grundschichten des Pfeilers geschritten. Schon im zweiten Jahre nach Vollendung der Brücke vertiefte sich das Flußbett an der Stelle des gedachten Pfeilers, in Folge des Hochwassers um 11 Fuß, so daß die Köpfe der Pfähle entblößt wurden. Den nachtheiligen Folgen dieses Vorfalls suchte man dadurch vorzubeugen, daß man größere Steinmassen rings um den Pfeiler versenkte und dadurch die Gründung gegen Unterwaschung sicherte.

In Figur 519 ist die Pilotirung des Land- oder Widerlagspfeilers dargestellt. Unmittelbar hinter der äußern Reihe Pfähle ist eine Spundwand eingeschlagen, wodurch die innern Pfähle von geringern Dimensionen gegen mögliche Unterwaschungen gesichert werden sollen.

Bei dieser Anordnung des beschriebenen Pfahlrostes wäre es jedenfalls vorzuziehen gewesen, wenn man statt der zwischengerammten Füllpfähle zur Dichtung des Erdreichs, einen regelrechten Schwellrost auf die eingerammten Tragpfähle aufgezapft hätte; denn was die Dichtung des Erdreichs durch die eingerammten Füllpfähle betrifft, so wird eine solche zwar im ersten Augenblick erreicht, indem durch das Eindringen der Pfähle das Erdreich nach allen Seiten hin zusammengedrängt wird. Die dadurch hervorgebrachte Spannung ist aber nicht von langer Dauer, sondern sie gleicht sich nach und nach mit dem übrigen Erdreich wieder aus und hört somit nach einiger Zeit ganz auf. Es wird also der dadurch beabsichtigte Zweck keineswegs erreicht. Dagegen durch einen aufgelegten und aufgezapften Schwellenrost werden die eingerammten Tragpfähle unter einander verbunden; es ist ein Ausweichen einzelner oder mehrerer Pfähle nach seitwärts hin durch den Druck der Last von oben nicht wohl möglich. Um ferner einem Ausweichen, namentlich der äußern Pfähle vorzubeugen, hat man innerhalb derselben einen Rahmen d angebracht und die äußern Pfähle mittelst eiserner Anker mit den innern Pfählen verbunden; dadurch ist aber noch keineswegs ein inniger Verband der Pfähle unter einander hergestellt, und es ist noch immer das Ausweichen einzelner Pfähle, trotz der Zwischenmauerung zwischen denselben zu befürchten. Dieses würde aber ganz aufhören, sobald die Pfähle mit einem vollständigen Schwellrost bedeckt sind, indem alsdann die Pfähle nur immer einen verticalen Druck erleiden, vorausgesetzt, daß die Pfähle möglichst bis zur alsoluten Festigkeit eingerammt wurden.

Bei den oben erwähnten Gründungen hat man sich statt der gewöhnlichen Fangedämme dichter Kasten bedient, um die Gründungen der einzelnen Pfeiler ausführen zu können. Diese Art der Umschließung der Baugrube ist jedenfalls sehr zweckmäßig und einfach, und bei einem thonigen sonst festen Boden sehr anwendbar, wenn man nur hinreichend Sorge trägt, daß der Kasten nicht gehoben werden kann. Besteht aber der Boden aus sehr feinem Sande oder sonst leicht beweglichem Erdreich, so ist die Anwendung eines solchen Kastens, wenn man die Baugrube wasserfrei erhalten muß, schon nicht mehr vortheilhaft, indem man damit nicht bis zu der gehörigen Tiefe einen genügend wasserdichten Abschluß der Baugrube erhalten kann. In solchen Fällen muß man sich dann schon der im fünften Capitel des ersten Bandes näher beschriebenen Fangedämme bedienen.

Bei Gründung der Pfeiler der Brücke bei Rinteln bediente man sich ebenfalls der Fangedämme. (Figur 430, 433 C, 433 B, Tafel 47.)

Nachdem die Dammpfähle, deren Länge 25 bis 26 Fuß betrug, bei einer Stärke von 10 bis 12 Zoll im mittlern Durchmesser stark, in Entfernungen von 5 Fuß von Mitte zu Mitte, 7 bis 8 Fuß tief eingerammt waren, wurden gegen die innern Seiten der beiden Pfahlreihen (ihre Entfernung betrug 14 Fuß) Rahmen nach Eintheilung der verschiedenen Wandlängen — von 20 bis 30 Fuß Länge eingestellt und eingestoßen, so daß deren aufrechte Randbohlen möglichst genau an und in einander schlossen. Diese Rahmen wurden mit Rücksicht auf ihre Länge, aus 2 und 3 aufrechten Spundbohlen und mit Rücksicht auf ihre Höhe, aus zwei und dreifacher, doppelter Riegelung construirt, so daß die Riegelung mit den Spundbohlen durch Schrauben verbunden und eine Verschiebung aus dem Winkel durch aufgeheftete Bohlenstreben verhindert wurde (s. Figur 433 B.) Nachdem dann diese Bohlen sämmtlich eingerammt und die Verzangung (s. Figur 433 C) vollständig hergestellt war, geschah die Dammfüllung bis unter die Zangen und bis 5 Fuß über den Nullpunkt.

Nachdem sich nun herausgestellt hatte, daß bei dieser Abdämmung und mit den zur Wasserförderung vorhandenen Mitteln allenthalben eine Wasserwältigung bis mindestens 4 Fuß unter Null würde geschehen können, wurde zur Ausführung der Gründung der Brückenpfeiler geschritten.

Die eingerammten Grundpfähle wurden bis auf etwa 5 Fuß unter Null abgeschnitten und der Rost in dieser Höhe aufgelegt. Rings um den Pfahlrost wurde eine Spundwand eingetrieben und der Raum innerhalb dieser Spundwand und zwischen den eingerammten Grundpfählen möglichst tief ausgebaggert, welche Ausbaggerung aber nicht bei allen Pfeilern gleich tief geschehen konnte, indem bei dem einen oder dem andern sich der Grund durch das Einrammen der Pfähle mehr oder weniger zusammengepreßt vorfand. Die Tiefe, bis zu welcher man ausbaggerte betrug zwischen 8 bis 11 Fuß unter Null. Dieser Raum wurde nun ganz mit Béton ausgefüllt und zwar bis zur Oberkante der aufgelegten Schwellen. Eine Ueberbohlung dieses Rostes wurde nicht weiter vorgenommen, dagegen aber wurde der Rost mit einer vollständigen starken Quaderschicht in gutem Verbande und Fugenwechsel auf den obern Rostschwellen bedeckt.

Um die Anwendung von Fangedämmen zu vermeiden, hat man ferner die Pfähle zu einem Pfahlrost eingerammt, diese dann in einer gewissen Tiefe sämmtlich in einer wagerechten Ebene abgeschnitten und darauf dann einen vorher gezimmerten Schwellrost versenkt. Die Zwischenräume zwischen den Pfählen werden vor Aufbringung des Rostes mit Béton ausgefüllt und das Ganze mit einer losen Steinschüttung umgeben. Wenn nun durch Anwendung dieses Verfahrens auch ein Fangedamm ganz unnöthig wird und eben so auch die stets kostbaren Schöpfarbeiten wegfallen, so bietet eine solche Gründung doch auch wieder nicht diejenige Sicherheit dar, welche zu einem solchen Bauwerke unerläßlich nothwendig ist, indem ein solches Fundament, wenn es unterspült wird, wegen der größern Länge der Pfähle weit gefährlicher ist, weil dieselben dann unter der Last möglicher Weise sich biegen können, trotz der dazwischen haftenden Bétonmasse; auch sind die Pfähle in solcher Höhe weit leichter Beschädigungen ausgesetzt. Aber dennoch findet man manche Beispiele dieser Gründungsarten. Uebrigens hat man auch die Pfähle in ansehnlicher Tiefe unter dem Wasserspiegel wagerecht abgeschnitten und das Pfeilermauerwerk in wasserdichten Kasten ausgeführt, die nach Herstellung eines Theils des Mauerwerks auf den Pfahlrost versenkt wurden, wo dann der Boden des Kastens die Stelle des Rostes vertrat. Dieses Verfahren ist im siebenten Capitels des ersten Bandes zwar schon näher beschrieben, worauf wir daher in dieser Beziehung verweisen; allein nichts desto weniger wollen wir hier noch das Verfahren der Gründung der Pfeiler der Brücke von Ivry anführen, da dieses noch manches Interessante darbietet.

In den Figuren 507 — 512 ist die Anordnung des Pfahlrostes, so wie die der Fundirungskästen für die Pfeiler der Brücke von Ivry näher dargestellt. Es heißt darüber in Försters allgemeiner Bauzeitung, Jahrgang 1838, folgendermaßen:

Nachdem die Gerüstpfähle eingerammt und mit den zu den Arbeiten der Pilotirung nöthigen Bohlen (Dielen) 1,50 Meter über dem niedrigsten Wasserstande versehen waren, legte man auf der Oberfläche dieses Bodens, welcher die für die später einzurammenden Grundpfähle bestimmten Zwischenräume darbot, die Achsen der Pfahlreihen so an, daß der Mittelpunkt eines jeden Pfahls durch zwei sich unter einem rechten Winkel schneidende Linien gegeben war.

Bei jedem Brückenpfeiler zählt man 66 Grundpfähle (Figur 507 A), welche in zur Längenachse der Brückenparallelen und auf diese senkrechten Reihen angeordnet sind. Die fünf Pfahlreihen nach der Länge stehen um 0,95 Meter von Mittel zu Mittel von einander; die Achsen der vierzehn der Quere nach bestehenden Reihen haben eine Entfernung von 1,125 Meter.

Nachdem nun die Grundpfähle sämmtlich eingerammt waren, wurden dieselben in einer Tiefe von 0,75 Meter unter dem niedrigsten Wasser genau in einer horizontalen Ebene abgeschnitten und da die Tiefe des Flusses bei diesem Wasserstande 2 Meter betrug, so standen demnach die Pfähle 1,25 Meter aus dem Boden des Flußbettes. Die Zwischenräume der Grundpfähle wurden nun mit Steinen ausgefüllt und vor dem Pfahlrost ein besonderer Steinwurf zu mehrerer Sicherheit vorgenommen. Der erstere Steinwurf zwischen den Grund-

pfählen wurde mit großer Sorgfalt ausgeführt, um nicht allein ein festes Ausfüllen zu bewirken, sondern auch um oben eine genaue Ebene zu bilden. Der äußere Steinwurf vor dem Pfahlroste wurde erst dann vollendet, als der Kasten auf die Baustelle gebracht und bis zur Wasserhöhe vollgemauert war und bildet rings um den Pfeiler eine Art Damm, dessen Oberfläche in der Höhe des Kastenbodens ungefähr 1 Meter Breite hat und von da in sehr schräger Böschung abfällt.

Wir kommen nunmehr zur Beschreibung der Kasten selbst.

Die Hauptschwellen g (Figur 507 B und Figur 510 A und B) über den Pfahlreihen erhielten einen Querschnitt von 0,35 Meter Höhe und 0,40 Meter Breite. Dieselben Dimensionen gab man auch den Hölzern der Umfassungsrahme f, jedoch nicht aus der Ursache, weil sie eine Belastung zu tragen haben, sondern nur, weil diese Balken durch tiefe Einschnitte und Falze zur Aufnahme der Schwellen g und h der senkrechten beweglichen Kastenwände g (Fig. 510 B und Fig. 511 B) und der äußersten Enden der letzten Bedielungspfosten k sehr geschwächt sind.

Die zwischen den Pfahlreihen liegenden Schwellen h erhielten eine Höhe von 0,225 Meter. Auch legte man die Rahmenbalken f um mehr als die Hälfte ihrer Breite über die äußerste senkrechte Kante der äußern Reihe der Grundpfähle hinaus, über deren Achse gerade die Vorderkante des Pfeilerfußes zu stehen kommt. Die Verbindung der Haupttragschwellen g mit den Rahmenbalken f ist in Figur 511 A ersichtlich und zwar liegen diese Schwellen noch mit 0,075 Meter in voller Stärke des Holzes auf den Peripherie-Grundpfahl auf. Bei den Zwischenschwellen h beträgt dieses jedoch nur 0,05 Meter.

Die Pfosten der Bodenbedielung k, deren Stärke 0,125 Meter beträgt, liegen der Länge nach auf allen Zwischenbalken und mit ihren beiden Enden in Falzen, welche in den Haupttragschwellen angebracht sind; für die äußersten Pfostenreihen sind in den Rahmenbalken entsprechende Falze eingeschnitten. In den Falzen sind diese Pfosten noch durch Stifte von Eichenholz festgenagelt, welche sich unter Wasser besser erhalten als eiserne Nägel. Figur 512 zeigt die Ueberplattung der einzelnen Stücke der Rahmhölzer f.

Die Lage aller eisernen Bolzen, Schienen und Bänder, welche das ganze Zimmerwerk befestigen oder zur Verstärkung der Holzverbände dienen, ist in den bezüglichen Figuren angedeutet. Alle Fugen des Kastenbodens wurden nach seiner Zusammensetzung mit Moos und Thon kalfatert und mit Latten von Eichenholz benagelt.

Die Kastenwände (Figur 510 und 511) bestanden aus den Ständern p, aus den horizontal zusammengesetzten Bretterwänden q, welche in die Ständer p eingesetzt sind und für deren unterstes Stück in dem Rahmholze f gleichfalls ein Falz vorgerichtet wurde. Diese Wände wurden durch die, der Länge und der Quere nach über den Kasten gelegten Zangen r, s Figur 508 und die Eisenanker t, Figur 511 B, welche durch diese Zangen greifen und am untern Rahmholze f verbolzt sind, mit dem Boden des Kastens zusammen gehalten. Die Ständer p sind in die Rahmschwellen f blos einfach ohne Verzahnung eingelassen, da diese Balken durch ein Zapfenloch zu sehr geschwächt würden und

der Kasten ohnehin mittelst der Anker t gut zusammen gehalten wird. Die Kastenwände selbst sind blos geschnittene, rauhgelassene Pfosten. Des bessern Zusammenhanges halber sind sowohl verticale als auch diagonale Riegel an den Wänden angebracht. Die Fugen der Bretter wurden gut kalfatert.

Was den Bau und die Aufstellung der Fundirungskasten betrifft, so ging man dabei folgendermaßen zu Werke. Zuerst wurde das nöthige Bauholz in der Nähe des Platzes, wo die Kästen vom Stapel gelassen werden sollten, aufgebracht und behauen, der Kastenboden ganz zusammengesetzt und in jeder Hinsicht fertig, mittelst untergelegter Walzen auf den Stapel gebracht, da einstweilen befestigt und hierauf die Wände aufgesetzt und verankert. Den auf diese Weise vorgerichteten Kasten ließ man nun vom Stapel laufen, was der Quere nach geschah und machte ihn flott. Sodann ward der Kasten zum Ladungsplatze des Steinmagazins bugsirt und an dieser Stelle so viel Schichten des Brückenpfeilers eingebracht und fertig gemauert, daß ihre Höhe so viel als die Wasserhöhe über den Grundpfählen betrug. Da der Kasten während dieser Arbeit sehr schwankt und sein Boden, welcher auf keiner festen Unterlage ruht, sich leicht biegen kann, so muß man stets auf seine Stellung Acht haben und häufige Messungen in Bezug auf die horizontale Lage der ausgeführten Schichten vornehmen. Auch muß man immer die Vorsicht gebrauchen, das Steinlager, woselbst der Kasten belastet wird, stromabwärts von der Brücke anzulegen, weil während der Arbeit leicht die Seile reißen und der Kasten vom Strome an die schon fertigen Werke der Brücke geführt werden könnte.

Nach Vollendung der Ausmauerung und Belastung des Kastens, bis er auf die oben erwähnte Höhe eintauchte, wurde er auf die Baustelle geführt und der Pfeiler bis zu seinem Rande vollendet. Hierauf schritt man nach einer genauen mit Hilfe von Tauchern vorgenommenen Prüfung der richtigen Stellung des Kastenbodens und der gleichförmigen Belastung sämmtlicher Grundpfähle zur Wegnahme der Wände. —

Zuweilen ist es möglich, die Gründungsarbeiten im Trocknen ohne weitere Herstellung von Fangedämmen auszuführen, indem man den Fluß ableitet und ihm während der Bauzeit eine andere Richtung giebt. Dieses kann aber nur für eine kurze Zeitdauer, höchstens während eines Sommers stattfinden. Ist es möglich, so darf man eine solche Gelegenheit durchaus nicht versäumen und muß auch so viele Arbeitskräfte heranziehen, um die Grundarbeiten während des Sommers so weit zu fördern, daß im darauf folgenden Jahre ohne zu wiederholende Ableitung des Flusses und ohne weitere Herrichtung von Fangdämmen die Arbeiten fortgesetzt und vollendet werden können. Um eine solche Ableitung ohne weitere Nachtheile für eine Zeit lang bewerkstelligen zu können, gehört aber einmal ein sehr niedriger Wasserstand dazu und ferner, daß der Fluß bei diesem Wasserstande nur wenig Wasser führe. Hat man dann das Glück, daß diese beiden Umstände zusammentreffen, so ist dennoch immer erforderlich, daß man auch für eventuelle Fälle hinreichende Sorge trägt und zwar leichte Fangedämme errichtet, damit wenn ein Anschwellen des Wassers während der Arbeitszeit eintreten und der Ableitungsdamm überströmen oder durchbrechen sollte, die Arbeiten doch ohne Störung fortgesetzt

werden können. Diese Fangedämme erhalten dann nicht solche Einrichtung, als wenn sie dazu dienen sollen, für längere Zeit den Druck des Wassers abzuhalten, sondern sie können aus einfachen dicht verspundeten Bohlenwänden bestehen, die in den Grund eingerammt sind, indem sie nur dazu dienen sollen, den ersten Stoß des Wassers und dies für kürzere Zeit aus der Baugrube entfernt zu halten.

Wenngleich die Herstellung der Fangdämme nicht selten mit sehr bedeutenden Schwierigkeiten und Kosten verknüpft ist, zumal wenn die Tiefe des Wassers bedeutend ist, so ist dieselbe doch nicht immer zu umgehen, und kommt es dann namentlich auf die Art der Gründung an. Man kann zwar, wie wir schon früher angeführt haben, einen Pfahlrost anordnen, ohne dazu Fangedämme zur Umschließung der Baugrube nöthig zu haben und findet dieses auch mehrfach angewendet. Allein bei der Anwendung eines Pfahlrostes halten wir es doch immer zweckmäßiger, wenn es nur irgend thunlich ist, die Baugrube durch einen Fangedamm einzuschließen, um dieselbe trocken legen zu können, denn nur dann ist man im Stande den Pfahlrost durch eine Spundwand und sonstige Anordnungen gehörig gegen äußere Einwirkungen zu schützen.

In manchen Fällen ist es aber gar nicht möglich einen solchen wasserdichten Fangedamm, wie er zur völligen Trockenlegung der Baugrube erforderlich ist, herstellen zu können, wie z. B. wenn der Grund aus Felsen oder aus einer sehr tief hinabreichenden leicht beweglichen Sandschicht besteht, wie solches letztere namentlich der Fall war bei dem Bau der Brücke zu Moulins über den Allier. Das Verfahren, welches der Erbauer dieser Brücke, Régemortes, anwendete, um die Gründung herzustellen, ist bereits in §. 47 des ersten Bandes näher beschrieben. Man hat auch bei solchem Sandgrunde folgendes Verfahren angewendet; es wurde nämlich eine Spundwand aus starken Hölzern um den später auszuführenden Pfeiler herum eingeschlagen und darauf der von der Spundwand eingeschlossene Raum ausgebaggert und abgeebnet. Hierauf wurde die erste Schicht Steine versenkt und suchte man die Fugen möglichst mit Mörtel auszufüllen. Solche Arbeiten aber unter Wasser auszuführen, wo man nur mit längern Stangen visitiren kann, ist nicht anzurathen, wenigstens nicht in dieser Weise. Auch ist überhaupt eine solche Gründung wie diese, immer sehr gefährlich, indem durch die Verengung des Flußbettes sehr leicht Auskolkungen und in Folge dessen ein Ausweichen der Spundwände entstehen kann. Dieses letztere kann auch stattfinden bei Eisgängen. Ist aber dann einmal die Spundwand beschädigt, so ist auch das Pfeilermauerwerk seines Schutzes entblößt. Die hieraus entstehenden Nachtheile sind leicht einzusehen.

Man sucht, wie bereits mehrfach angeführt wurde, die Fundamente durch eingerammte Spundwände oder durch Steinschüttungen oder durch Faschinenwerke gegen Unterspülungen zu schützen. In vielen Fällen und namentlich, wenn der Boden aus nicht zu feinem Triebsande oder sonst sehr leicht beweglichen Erdarten besteht, und wenn der Fluß nicht durch unrichtig angeordnete Einbauten verengt ist, wodurch Untiefen und Auskolkungen hervorgebracht werden können, reicht dieses vollkommen hin, um den beabsichtigten Zweck zu erlangen. Es bleibt alsdann immer noch eine sorgfältige Beaufsichtigung und häufige

Untersuchung nöthig, indem selbst auch unter den oben angedeuteten günstigen Annahmen sich Auskolkungen bilden können. Besteht aber der Boden aus sehr leicht beweglichem Triebsande, in welchen ohnehin die Pfähle nicht sehr tief eindringen, so genügt eine solche Anwendung durchaus nicht; denn da die Gestalt des Flußbettes sich bei jedem Hochwasser verändert und durch die Verengung des Stromes durch die eingebauten Pfeiler, die Stromgeschwindigkeit sich vergrößert, so ist um so eher anzunehmen, daß unterhalb der Brücke Auskolkungen entstehen, wodurch die eingerammten Pfähle von dem sie umgebenden Erdreich entblößt und somit ihres sichern Standpunktes beraubt werden. Die hierdurch für das Bauwerk selbst entstehende Gefahr ist leicht einzusehen; es muß daher Sorge getragen werden, solches für alle Fälle zu verhindern. Dieses erreicht man aber, wie schon erwähnt, nicht durch die angeführten Mittel, sondern es ist hierzu erforderlich, daß man solche Anordnungen treffe, wodurch überhaupt an der Brückenstelle eine nachtheilige Veränderung des Flußbettes gar nicht stattfinden kann.

Dies erreicht man nun vollständig durch die Anordnung eines durchlaufenden Sturz- oder Fluthbettes. Ein solches Fluthbette besteht aus 2, 3, 4 bis 5 Reihen Spundwänden, welche oberhalb und unterhalb der Brücke quer durch den Fluß eingeschlagen werden und an beide Ufer sich anschließen.

Die wichtigste Anwendung eines solchen Fluthbettes machte Régemortes beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier, welches Verfahren im ersten Bande, S. 153, schon näher beschrieben ist.

In den gewöhnlichen Fällen, wo die Anordnung eines Fluthbettes erforderlich erachtet wird, rammt man oberhalb, so wie auch unterhalb der Brücke zwei Reihen Spundpfähle ein, räumt alsdann den dadurch eingeschlossenen Raum aus, indem man den Sand oder das sonst sich vorfindende Erdreich auf einige Fuß Tiefe ausgräbt oder ausbaggert; füllt alsdann diesen Raum wieder mit Steinschutt aus, welchen man möglichst feststampft, und breitet hierüber eine starke Lage Béton aus. Kann man das Fluthbette pflastern, wozu aber nur größere und gut zusammengefugte Steinplatten tauglich sind, so ist dieses sehr zweckmäßig; allein es muß schon gewöhnlich unterbleiben, weil das Fluthbette mehrere Fuß unter Wasser sich befindet und zwar unter dem niedrigsten Wasserspiegel sich befinden muß, damit die Schifffahrt ihren ungestörten Fortgang hat. Die Spundwand muß sich daher eben so tief unter dem niedrigsten Wasserstande befinden und kann deshalb auch nicht verholmt werden, was übrigens ohne allen Nachtheil ist, da ein Losreißen einzelner Spundbohlen nicht wohl stattfinden kann. Zuweilen reicht es auch hin nur unterhalb der Brücke eine Reihe Spundpfähle einzuschlagen; dies ist jedoch nur dann genügend, wenn die Pfeiler auf Pfahlroste gegründet sind, oder wenn der Fluß keinen Eisgang führt.

Werden unter- und oberhalb der Brücke mehrere Reihen Spundwände eingeschlagen, so ist in solchen Fällen, wo der Boden aus Sand besteht, selbst wenn dieser auch beweglich ist, nicht immer die Anwendung eines Pfahlrostes erforderlich, wie genügend dargethan wird durch das bei der Brücke zu Moulins angewendete Verfahren. Uebrigens muß man in solchen Fällen mit

der größten Vorsicht zu Werke gehen. Bestimmte Regeln, die überall Geltung haben, lassen sich darüber nicht geben, sondern man kann nur Andeutungen von angewendeten Verfahren machen und muß es daher immer dem umsichtigen und richtigen Ermessen anheim gestellt werden, in wiefern man von dem einen oder dem andern Verfahren Anwendung machen will. Daß aber durch die Anordnung eines solchen Fluthbettes durchaus keine Störung in der Schifffahrt hervorgebracht werden darf, versteht sich von selbst und ist auch schon oben angeführt.

Bei der Geutin-Brücke der Eisenbahn von Bourges nach Nevers über den Allier beim Einfluß in die Loire ist auch ein solches Fluthbette angeordnet. Dasselbe besteht (s. Figur 498) aus zwei Reihen Spundpfählen und ist der Zwischenraum auf mehrere Fuß tief ausgebaggert und mit Béton ausgefüllt. Diese Bétonlage erstreckt sich durch die ganze Breite des Flusses und dient zugleich als Fundament der Pfeiler.

Um die Fundamente, sie mögen nun aus einem Pfahlrost, Schwellrost, oder einer Bétongründung bestehen, gegen Unterspülung zu schützen, sind jedenfalls die Spundwände am zweckmäßigsten. Hat man dann die Baustelle gehörig durch Fangedämme eingeschlossen und die Baugrube trocken gelegt, so ist es keiner großen Schwierigkeit unterworfen, innerhalb des Fangedammes die nöthigen Spundwände einzurammen und dieselben zu verholmen, und zwar in solcher Tiefe, daß sie höchstens 1 Fuß oder gar nicht aus dem Grunde des Flußbettes hervorragen. Wendet man dagegen keine Fangedämme an, und findet also auch keine Trockenlegung der Baugrube statt, so ist eine solche Herstellung der Spundwände, wie die eben erwähnte unmöglich. Sollen dann Spundwände angeordnet werden, so lassen sich die Spundpfähle zwar einrammen und in einer beliebigen Tiefe unter dem Wasserspiegel abschneiden, man kann sie aber in dieser Tiefe nicht verholmen. Man wendet daher auch in solchen Fällen seltener Spundwände an, sondern gewöhnlich eine Steinschüttung, mit welcher man den Pfahlrost umgiebt, um ihn dadurch gegen Unterspülung zu schützen.

Wenngleich nun durch die Anwendung einer solchen Spundwand in Verbindung mit einer Steinschüttung die Baukosten sehr erheblich vermehrt werden, so sollte man dennoch bei größern wichtigern Bauten ein solches Verfahren trotz der Vermehrung der Baukosten anwenden. Denn, was die Haltbarkeit einer solchen Spundwand betrifft, so entbehrt sie zwar die Verholmung, wenn man sie in einiger Tiefe unter dem Wasserspiegel abschneiden muß; sie lehnt sich aber innerhalb gegen den Pfahlrost und gegen die Ausfüllung der Zwischenräume desselben; äußerlich wird sie aber durch die Steinschüttung gegen äußere Beschädigungen geschützt. Durch eine solche Anordnung erhält alsdann der Pfahlrost, wenn derselbe unter Wasser abgeschnitten ist und das Pfeilermauerwerk nachdem in wasserdichten Kasten gemauert, darauf versenkt wird, jedenfalls eine weit größere Sicherheit, als solche allein durch eine Steinschüttung würde erhalten werden.

Beim Bau der Lary-Brücke bei Plymouth zeigten sich neben den Brückenpfeilern sehr bedenkliche Auskolkungen, so daß man für deren Erhaltung besorgt wurde. Rennie wendete nun, um ein weiteres Umsichgreifen zu

verhüten und überhaupt einen Sicherheit gewährenden Zustand wieder herzustellen, folgendes Verfahren an. Er ließ nämlich das Flußbette, welches aus Sand bestand mit einer starken Thonschüttung überdecken, und hierüber noch eine zwei Fuß hohe Lage großer Steine bringen, von denen jeder einzelne etwa einen Kubikfuß maß.

Bei Herstellung der Fundamente unter den Widerlagern wendet man gewöhnlich Fangedämme an, weil sie einmal nahe am Lande liegen und selten tiefer als 3 bis 4 Fuß unter dem niedrigsten Wasser fundirt zu werden brauchen. Besteht nun der Grund in einiger Tiefe aus Felsen, so daß man keine Pfähle zu einem Pfahlroste einrammen kann, so gräbt man das oben liegende Erdreich in der Ausdehnung des Widerlagers aus und fundirt unmittelbar auf den Felsen, wo dann die Seitenwände der Baugrube, wenn es erforderlich ist, mit Brettern und sonstigen Holzbekleidungen abgestützt werden und dann gleichzeitig die Wände des Fangedamms bilden. Hierbei ist dann eine spätere Unterspülung der Fundamente nicht zu fürchten und daher auch ein weiterer Schutz der Fundamente hier nicht erforderlich. Tritt hierbei aber der Fall ein, daß die Baugrube nicht trocken gelegt werden kann, wenigstens nicht in der ganzen Ausdehnung des Widerlagers, so führt man das Fundament in kleinern Abtheilungen auf, wobei man aber Sorge zu tragen hat, daß nach Vollendung des Mauerwerks ein richtiger Verband inne gehalten ist. Ist aber auch dieses nicht möglich, so muß man eine Lage Béton von hinreichender Mächtigkeit versenken und ist dann das zu beobachtende Verfahren, wie bereits im achten Capitel des ersten Bandes näher angegeben wurde.

Nach Wiebeking kann man, sobald der Felsen nur etwa 5 Fuß tief unter dem niedrigsten Wasserstande liegt und eine horizontale oder eine gegen die Stromrichtung sich etwas neigende ebene Fläche bildet, die Werkstücke noch unmittelbar auf denselben lagern, wenn man Löcher in den Felsen bohrt, in jedes derselben eine 3 Zoll dicke eiserne Stange treibt und zur Grundlage so große Werkstücke nimmt, daß die eisernen Stangen 2 Fuß tief in dieselben gehen und sie festhalten. Diese Stangen werden am untern Ende etwas dünner und gespalten und angemessene Keile in die Spalten gesteckt, damit sie eingestoßen desto fester halten. — Dieses Verfahren würde aber nicht allein sehr mühsam, sondern wohl auch unausführbar sein; auch ist die Oberfläche des Felsens nie so regelmäßig und so eben, daß man darauf eine ebene Schicht Steine gleich versetzen könnte. Es würde daher die erste Aufgabe sein, die Oberfläche des Felsens vollständig zu ebenen, was aber unter Wasser wohl nicht ausführbar ist. Ueberhaupt hat das Versenken großer Steine zu einem regelmäßigen Mauerwerk unter Wasser seine sehr großen Schwierigkeiten; man kann nie auf ein geschlossenes Mauerwerk rechnen, denn der Mörtel, welchen man hinabschüttet oder senkt und welcher in die Fugen eindringen soll, legt sich höchstens auf die obere Fläche der Steine, fließt aber nicht in die Fugen; eben so werden auch die horizontalen Fugen nicht voll, indem eine Mörtellage unter Wasser nicht ausgebreitet werden kann, ohne daß die Kalkbestandtheile herausgespült werden und sich absondern, weshalb die Steine auch ein hohles Lager erhalten würden. Daß aber solche Zustände für das Bauwerk selbst nur vom

größten Nachtheil sein können, ist leicht einzusehen, und daher eine solche Gründung unter Wasser jedenfalls sehr verwerflich. Ein gutes Mauerwerk läßt sich nur im Trocknen, d. h. in einem wasserfreien Raume ausführen und hat man daher ein Mauerwerk unter der Oberfläche des Wassers in einiger oder größerer Tiefe herzustellen, so muß man entweder die Baustelle durch Fangedämme einschließen und sie trocken legen, oder man muß sich der Gründung in wasserdichten Kästen bedienen. Beide Gründungsarten aber sind schon im ersten Bande näher beschrieben und bedarf es daher hier keiner weitern Erörterung.

Bei der Brücke zu Chester über den Deefluß (Fig. 529) fand sich etwa 5 Fuß unter dem kleinsten Wasserstande ein festes Felsenlager. Das darüber befindliche Erdreich wurde abgegraben und der Felsboden kammförmig zugerichtet, so daß dadurch gleich der Anlauf des Bogens gebildet wurde. Einen Theil des Baugrundes, wo kein Felsen aufgefunden wurde, befestigte man durch einen Pfahlrost, wie auch aus der Zeichnung ersichtlich ist.

Kann man es ohne bedeutend größern Kostenaufwand erreichen, so ist es sehr zweckmäßig, die sämmtlichen Pfeiler einer Brücke in einer und derselben horizontalen Ebene zu fundiren und zwar in der Tiefe des Stromstrichs, weil dann der Boden unter allen Pfeilern einen gleichen Druck erleidet. Dieses zu erreichen ist aber wegen mehrfacher Rücksichten nicht immer möglich; denn besteht das Flußbett aus beweglichem Sande, so ist der Stromstrich nicht selten tief ausgespült und muß durchaus regulirt werden; man kann also dann die Tiefe im Stromstrich nicht wählen, und würde dies außerdem auch mit bedeutenden Schwierigkeiten und Kostenvermehrung verbunden sein. Besteht ferner der Boden aus Felsen und ist derselbe in seiner Oberfläche nicht horizontal, so würde es ebenfalls nicht rathsam sein, an den verschiedenen Pfeilerstellen das Gestein so weit wegzuarbeiten, daß die Pfeilersohlen in einer horizontalen Ebene zu liegen kämen, indem dadurch ohne Noth ein sehr bedeutender Kostenaufwand erweckt würde. Ueberhaupt wird dieses Verfahren auch selten eingehalten und richtet man sich gewöhnlich nach der Form und der Beschaffenheit des Flußbettes.

Achtes Capitel.

Von den Widerlagspfeilern, Flügelmauern, Auffahrten und Leinpfaden.

---

§. 23. Von den Widerlagspfeilern und Flügelmauern.

Ueber die Bestimmung der Stärke der Widerlagspfeiler ist bereits in §. 16 die Rede gewesen und soll hier nunmehr noch über die Form und Ausführung derselben das Nöthige angeführt werden.

Die Widerlagspfeiler dienen dazu, den Schub des Bogens zu stützen, und je mehr sie hierzu im Stande sind, um so besser ist es und um so weniger werden Nachtheile dadurch veranlaßt werden, vorausgesetzt, daß die Fundirungen der Widerlager von der Art sind, daß keine Senkungen derselben zu befürchten stehen. Es ist daher bei der Construction derselben dahin zu sehen, daß ihre größte Standfähigkeit in die Richtung des Bogenschubs fällt und immer größer als dieser ist.

Nicht selten ist man auch bei der Construction der Widerlagspfeiler von der Ansicht ausgegangen, durch den Schub des hinterfüllten Erdreichs dem Bogenschub das Gleichgewicht zu halten. Unter dieser Annahme hat man dann die Widerlager bedeutend schwächer ausgeführt und dieselben nur als Mittel betrachtet, die erforderliche Ausgleichung zwischen Bodendruck und Bogenschub zu bewirken. Daß aber eine solche Annahme nicht zu empfehlen ist, wenigstens nicht unter allen Umständen, ist leicht einzusehen; denn da das aufgeschüttete Erdreich nie einen solchen Grad von Dichtigkeit und Zusammenhang durch Rammen oder dergleichen erhalten kann, als dieser im Laufe der Zeit durch das Eigengewicht des Bodens und die Einwirkung der eindringenden Tagegewässer erzeugt wird, so versteht sich von selbst, daß bis zu einem solchen Zeitpunkte der Druck des angeschütteten Bodens gegen das Widerlager wächst, wodurch aber gleichzeitig auch die Spannung aller Bögen, die mit dem letztern in Verbindung stehen, namentlich bei etwas hohen und schwachen Pfeilern, eine größere wird. Möglicher Weise kann aber auch der Fall eintreten, daß der Druck des Bodens gegen die Widerlager sich mindert; in diesem Falle würde dann auch die Bogenspannung sich vermindern, indem die Widerlagspfeiler nicht im Stande sein würden, dem Bogenschub einen genügenden Widerstand zu leisten. Aus beiden Fällen geht daher hervor, daß es unter solchen Umständen immer unräthlich ist, die Widerlager nur als Ausgleichung zwischen Bodendruck und Bogenschub zu betrachten und nur in dem Falle würde solches zulässig erscheinen, wenn unmittelbar hinter dem Widerlagspfeiler fester abgelagerter Lehm- und Steinboden läge. Allein selbst solcher Boden übt einen Druck auf das Widerlager aus, sobald er durch Auswitterung oder durch von oben eindringende Nässe oder durch starke Erschütterungen abstürzt. Da nun außer Felsboden kein anderer Boden ist, der nicht bei größerer Höhe gegen das Widerlager einen bedeutenden Druck ausübte, so ist es immerhin nicht zu empfehlen, zu dem erwähnten Verfahren seine Zuflucht zu nehmen, um dadurch vielleicht augenblicklich eine Kostenersparniß hervorzubringen. Auch in dem Falle, wenn die Widerlager so niedrig werden, daß der Erddruck, auch wenn er wächst, nicht weiter in Betracht kommt, wenigstens nicht in oben erwähnter Hinsicht, sollte man die Widerlager nie so schwach anordnen, daß der Erddruck mit dazu benutzt werden muß, um die anfängliche Bogenspannung für die Folge zu erhalten. Ueberhaupt ist es jedenfalls immer am zweckmäßigsten, den Widerlagern eine solche Stärke zu geben, daß sie ganz unabhängig sowohl dem Bogenschube, als auch dem Erddruck einen hinlänglichen Widerstand leisten können. Bei kleinern Brücken, deren Widerlagspfeiler eine bedeutende Höhe erhalten, kommt dieses namentlich sehr in Betracht; denn würde man hierbei auch von der

Ansicht ausgehen wollen, die Widerlagspfeiler durch das dahinter geschüttete Erdreich gegen den Bogenschub zu verstärken oder umgekehrt die Widerlagspfeiler gegen den Erddruck durch das dagegen gespannte Gewölbe zu verstärken, so könnte sehr leicht der Fall eintreten, daß dieselben dem stattfindenden und bis zu einem gewissen Zeitpunkte wachsenden Erddruck keinen hinlänglichen Widerstand entgegensetzten, wie dieses auch schon mehrfach durch Beispiele bestätigt worden. Namentlich ist dies deutlich ersichtlich und durch die Erfahrung bestätigt bei der Brücke der Durham-Junction-Eisenbahn über das Thal der Wear (Figur 524), worauf wir weiter unten noch einmal zurückkommen.

Ehe wir nun zu den Formen der Widerlager übergehen, soll hier zunächst das Nöthige über die Flügelmauern angeführt werden.

Die Flügelmauern, welche sich, wo sie hergestellt werden, unmittelbar an die Widerlagspfeiler anschließen, können eine mehrfache Bestimmung haben. Zunächst ist ihre Hauptbestimmung, die Widerlagspfeiler gegen Hinterspülung zu schützen und das Niederrutschen des Erdreichs gegen die Durchgangsöffnung der Brücke zu verhindern, was nicht allein für das Bauwerk selbst, sondern auch für den zur Brücke führenden Straßendamm sehr nachtheilig sein würde. Hierbei kommt also nicht allein ihre Lage, sondern auch ihre Stärke in Betracht. Was ihre Stärke betrifft, so muß dieselbe so groß sein, daß der dahinter aufgeschüttete Boden in seiner Lage vollständig erhalten werde, also die Mauer durch den darauf wirkenden Bodendruck nicht nach auswärts geschoben oder gar umgestürzt werde. In dieser Hinsicht kann man daher diese Flügelmauern als Futtermauern betrachten und ihre Stärke nach dem im ersten Bande dieses Werkes darüber Mitgetheilten bestimmen. Was ferner ihre Lage betrifft, so hat man vor allen Dingen zunächst dahin zu sehen, daß durch dieselben nicht eine Menge Wirbel im Wasser erzeugt werden, wie dies namentlich der Fall sein würde, wenn die Widerlagspfeiler bedeutend in den Fluß hineintreten und die sich an die Ufer anschließenden Flügelmauern in vieleckiger Grundform mit aus- und einspringenden Winkeln aufgeführt würde.

Die Flügelmauern erhalten gewöhnlich eine solche Richtung, welche mit der Längenachse der Gewölbe etwa einen Winkel von 18 bis 22 Grad bildet, um eine sanftere Einmündung des Wassers in die Brückenöffnung hervorzubringen. Diese Anordnungen finden namentlich dann ihre Anwendung, wenn die Ufer sehr flach sind und der zur Brücke führende Straßendamm sehr hoch ist, wo dann die Flügelmauern dazu dienen, sowohl eine Hinterspülung als auch sonstige Beschädigungen des Widerlagspfeilers und des Straßendammes zu verhüten. Eine solche Form ist aber auch nicht immer beibehalten, wie wir aus den weiter unten angeführten Beispielen näher ersehen werden. Bei diesem angenommenen Falle, wo der Straßendamm auf beiden Seiten von flachem Lande begrenzt wird und sich also an die Brücke Erddeiche anschließen oder auch nicht, darf aber die Richtung der Flügelmauer nicht senkrecht auf die Stirnmauer der Brücke stehen, indem dann der eigentliche Zweck, nämlich eine Beschützung des Brückengebäudes gegen Beschädigungen, dadurch jedenfalls verloren gehen würde.

In Städten dagegen, wo die Ufer durch Kaimauern oder Futtermauern

eingefaßt sind, werden die Widerlager so hergestellt, daß ihre Verlängerung in die Richtung obiger Mauern fällt und somit fallen hier die Flügelmauern ganz weg. In solchen Fällen aber die Widerlager aus der Linie der Kaimauern heraustreten zu lassen, ist durchaus unrathsam; denn da im Allgemeinen die Flüsse innerhalb von Städten durch die verschiedenen Einbauten und Ufereinfassungen schon immer nicht unerheblich eingeengt sind und namentlich bei Hochwasser einen schnellen und ungestörten Abfluß desselben verhindern, so würde durch das Hineinrücken der Widerlager in den Fluß derselbe nur noch mehr beengt werden und einen höhern Aufstau hervorbringen. Ganz zwecklos würde es aber sein, wenn man die Widerlager innerhalb der Linie der anstoßenden Futtermauern herstellen wollte.

Uebrigens findet man auch viele Beispiele, wo man, um die Beschädigungen des Straßendammes und eine Hinterspülung der Widerlagspfeiler zu verhüten, andere Anordnungen als die eben erwähnten getroffen hat. Man führt nämlich die Widerlager in paralleler Richtung mit der Stirnmauer so weit als es erforderlich ist, in das Ufer hinein, baut alsdann an den Auffahrten Dämme, die eine genügende Dossirung erhalten. Diese bekleidet man mit Rasen, Faschinen oder pflastert sie mit Steinen und verlängert sie ober- und unterhalb der Brücke, so weit es für nöthig erachtet wird. Eine solche Anordnung kann aber nur dann zweckmäßig und mit Vortheil angewendet werden, wenn der Fluß keinen Eisgang führt; denn da die Eisgänge gewöhnlich erst bei höherem Wasserstande stattfinden, wo dann auch schon ein Theil der Ufer unter Wasser befindlich ist, so würden die antreibenden Eisschollen nicht allein die Uferbekleidung oberhalb der Brücke sehr beschädigen, sondern sie würden auch mit großer Gewalt gegen die hervortretenden Ecken der Landpfeiler stoßen. In solchen Fällen würden daher weiter fortgeführte Flügelmauern jedenfalls vorzuziehen sein, namentlich, wenn man sie in etwas schräger Richtung und unmittelbar gegen die Ecken der Landpfeiler stoßen ließe und zwar ohne vorspringende Ecken und Pfeiler. In den Figuren 521, 522 und 523 sind einige hierher gehörige Fälle dargestellt. Bei oben angeführtem Falle muß der Fuß des Erddamms ebenfalls gegen die Angriffe des Flusses geschützt werden und kann man hierzu eine niedrige Mauer, oder ein Fußbohlwerk oder auch eine Faschinenpackung in Anwendung bringen.

Bestehen die Ufer aus Felsen und bilden also diese die Brückenwiderlager, so sind die Flügelmauern ganz und gar entbehrlich und nur in dem Falle, daß der Felsen sich ganz abflacht und längs des Ufers eine Straße hergestellt werden soll, können Flügelmauern erforderlich werden, welche aber dann in der Richtung der Widerlager aufgeführt werden und somit streng genommen nicht mehr als Flügelmauern, sondern als Kai- oder Futtermauern zu betrachten sind.

Zuweilen haben die Flügelmauern auch die Bestimmung, die Standfähigkeit des Widerlagspfeilers zu vergrößern. In diesem Falle bilden sie einen wesentlichen Bestandtheil des Widerlagspfeilers selbst und sind dann mit demselben auch aufs festeste zu verbinden.

Nachdem wir diese Andeutungen vorausgeschickt haben, sollen nunmehr verschiedene Beispiele angeführt werden, was um so zweckdienlicher sein wird, da die Formen der Widerlagspfeiler selbst, unbeschadet ihrer Bestimmung sehr mannigfaltig abgeändert werden können.

Die ersten hier anzuführenden Fälle sind diejenigen, wo die Ufer aus Felsen bestehen und diese unmittelbar als Widerlager benutzt werden, also weder die Herstellung von Widerlagsmauern noch Flügelmauern erforderlich ist.

Hierher gehört unter andern das linke Ende der Brücke über den Neckar bei Cannstatt Figur 506. Das eigentliche Widerlager des Bogens bildet hier ein hartes Gestein; das zwischen dem Bogen und dem Felswiderlager befindliche Mauerwerk dagegen dient eigentlich nur zur Ausfüllung des Raumes vom Bogenende bis zum Gestein und kann daher streng genommen nur als Hintermauerung angesehen werden, die dadurch erforderlich geworden, daß die zerklüfteten Lagen und verwitterten Schichten des Gesteins abgeräumt werden mußten, um ein solides Mauerwerk darauf aufführen zu können.

In ähnlicher Weise findet dies auch statt beim linken Ende der in Fig. 513 dargestellten Brücke bei Besigheim. Es ist zwar hier ein Widerlagspfeiler aufgeführt, dieser dient aber eigentlich nur als Ausfüllung zwischen dem Bogenanfange und dem Gestein.

Eine andere hier einschlagende Ausführung zeigt die in Figur 520 dargestellte große Wolmsdorfer Brücke der sächsisch-schlesischen Eisenbahn. Die zu beiden Seiten liegenden Steinmassen, welche hier aus Granit bestehen, bilden die Ufer der Röder an der Ueberbrückungsstelle und gleichzeitig auch die Widerlager des Bogens. Die massive Hintermauerung des Bogens lehnt sich, wie aus dem Quer- und Längendurchschnitt zu ersehen ist, ebenfalls gegen die Felsenmassen an.

Eben so gehört auch hierher die in Figur 558 dargestellte Brücke über den Bergstrom Fella auf der Straße von Pontebba. Beide Widerlagspfeiler sind auf Felsen gegründet; der rechtseitige hat nur eine Stärke von 3,25 Meter, indem der Felsen hier selbst hinlänglichen Widerstand leistet und also das Mauerwerk hier nur zur Ausgleichung dient. Der linkseitige Pfeiler dagegen hat eine Länge von 18 Meter, indem hier die Oberfläche des Felsens zu tief gesenkt liegt.

Bei der in Figur 576 dargestellten Brücke zu Crespano, welche die beiden Ufer des Asticothales mit einander verbindet, bestehen die Ufer ebenfalls aus Felsen und dient die Hintermauerung des Bogens nur zur Ausgleichung und zur Herstellung der Auffahrten.

Es ließen sich hier noch mehrere Fälle der erwähnten Art anführen, allein die bisher gegebenen Beispiele genügen vollkommen, um das Gesagte deutlich zu machen.

Wir haben schon oben erwähnt, daß in solchen Fällen, wo die Ufer keine natürlichen Widerlager bilden, und sonach die Herstellung künstlicher Widerlager erforderlich ist, es jedenfalls am zweckmäßigsten ist, die Widerlager in solcher Stärke aufzuführen, daß sie nicht allein selbstständig dem einseitigen Bogenschub,

sondern auch dem einseitigen Erddruck vollkommen Widerstand zu leisten im Stande sind, wodurch dann der Stand der Brücke jedenfalls am meisten gesichert ist. Man kann nun den Widerlagern verschiedene Formen geben, um dieses zu erreichen; es kommt aber dabei hauptsächlich darauf an, dieselben so herzustellen, daß sie bei einer vollständigen Stabilität nur einen möglichst geringen Aufwand von Material erforderlich machen. Dieses kann aber nur dann erreicht werden, wenn man statt der vollen massiven Steinkörper solche anwendet, die inwendig hohl sind, aber vermöge der Zusammensetzung ihrer Theile dieselbe Standfähigkeit gewähren, als ein voller Steinkörper.

Es sollen hier nun verschiedene hierher gehörige Fälle angeführt werden.

Die einfachste Form für standfähige Widerlagspfeiler ist jedenfalls ein rechteckiger massiver Steinkörper, welcher eine solche Größe und Schwere hat, daß er die Richtung des Bogenschubs in sich aufnehmen und von diesem, so wie auch wieder von dem Erddruck nicht verschoben werden kann. Eine solche Pfeilerform ist unbedingt die einfachste und bei geringer Pfeilerhöhe und bei sonst billigen Materialpreisen diejenige, welche am leichtesten ausführbar ist. Ist aber ein solcher Pfeiler in bedeutender Höhe aufzuführen und besteht der hinterfüllte Boden aus lockerer und leicht beweglicher Erde, wie dieses wohl in den meisten Fällen stattfindet, so muß derselbe, um dem Erddruck und dem Bogenschub unabhängig widerstehen zu können, schon eine bedeutende Ausdehnung erhalten und ist dann ein sehr bedeutender Aufwand an Material erforderlich, wodurch aber der Vortheil, den die größere Einfachheit sonst darbietet, ganz und gar verloren geht.

Als Beispiel für diesen Fall führen wir die in Figur 521 dargestellte Brücke über die Dora in Turin an. Die Widerlager bestehen hier aus massiven Steinkörpern, die eine Stärke von 12 Meter haben und außerdem hinterwärts in der Richtung der Stirnmauern noch durch zwei Strebepfeiler verstärkt werden, deren Länge 6 Meter und deren Breite 3 Meter beträgt. Hier erhalten ferner auch noch die Uferwiderlager der Brücke eine wesentliche Verstärkung durch die in schräger Richtung dagegen stoßenden Flügelmauern.

Streng genommen, gehört auch hierher die in Figur 532 dargestellte Kaiser-Franzens-Brücke in Carlsbad, wenngleich der Bogen so weit herunter geführt ist, daß er sich nicht gegen Mauerwerk, sondern unmittelbar gegen den Pfahlrost unter dem Widerlagspfeiler stützt. Es greift aber das obere Mauerwerk, so wie auch die untere Ausmauerung dergestalt in das Gemäuer des Bogens, daß die einzelnen Steine desselben zum Theil auch ihre Stützung von dem Widerlagsgemäuer erhalten.

Man könnte hier noch viele Beispiele der Art anführen, allein es genügen diese Beispiele vollkommen, um das oben Gesagte deutlich zu erklären.

Wir kommen nunmehr zu denjenigen Fällen, wo man bei den Widerlagspfeilern durch gewisse Aussparungen oder Hohlbauten an Material und Arbeit Ersparnisse zu erlangen gesucht hat. Von diesen Constructionen giebt es eine sehr große Anzahl, die aber alle anzuführen, die Grenzen dieses Werkes überschreiten würde, weshalb wir uns damit begnügen, einige derselben hier mitzu-

theilen. Dieses wird um so mehr genügen, da man aus den hier mitgetheilten Beispielen das Nöthige hinlänglich ersehen und entnehmen kann.

Bei der in Figur 537 dargestellten Brücke im Benedictsthal bei Lüttich über die Maas sind die an beiden Enden derselben aufgeschütteten Erddämme von nicht sehr bedeutender Höhe und haben daher die Widerlager weniger dem Erddruck als dem Schube der flachen Bögen zu widerstehen. Die Widerlager, welche an der Grundsohle ganz voll gemauert sind, haben in einiger Höhe Durchgänge, welche wohl durch das Bedürfniß vorgeschrieben sind, aber jedenfalls eine sehr bedeutende Ersparung an Material zu Wege gebracht haben. Trotz dieser Durchbrechung der Widerlager sind dieselben doch noch immer vollständig genügend, sowohl dem Erddruck als auch dem Bogenschub gehörigen Widerstand zu leisten.

Dasselbe findet auch statt bei der in Figur 571 dargestellten Brücke zu Neuilly über die Seine. Auch hier ist in jedem Widerlager ein Durchgang angeordnet, welche Durchgänge hier ebenfalls als Bedürfniß vorgeschrieben zu sein scheinen. Das Mauerwerk ist hier nicht bis zur Sohle der Durchgänge voll, sondern die beiden Seitenmauern sind durch Quermauern mit einander verbunden, wie aus Figur 571 A zu ersehen ist.

Die in Figur 529 dargestellte Grovenor-Brücke in Chester über den Deefluß hat zwar auch Widerlager mit solchen Durchgängen, wie die oben erwähnten. Die Durchbrechung der Widerlager ist hier durchaus unschädlich und sind sie für den Schub des großen Bogens genügend standfähig, und dieses um so mehr, da die Bogenanfänge sich unmittelbar gegen den Felsengrund stützen. Aber auch dem Bodendruck setzen sie einen hinreichenden Widerstand entgegen, weil ihre Länge größer ist, als die Höhe des dahinter aufgeschütteten Erddamms.

Ein sehr interessantes Beispiel der erwähnten Art zeigt die in den Figuren 544—546 dargestellte Maidenhead-Brücke der Great-Western Eisenbahn. Die 128 Fuß weiten Bögen stützen sich gegen die Widerlager, welche zwar eine erhebliche Ausdehnung haben, aber mehrfach durchbrochen sind. Wie aus Figur 544 ersichtlich, sind in jedem Widerlager vier Oeffnungen und außerdem sind auch die kleinen Zwischenpfeiler inwendig hohl, wodurch jedenfalls sehr bedeutend an Material erspart wird. Um die Reibung der Widerlager auf ihrer Grundfläche, die natürlich durch den angeordneten Hohlbau sehr gemindert ist, zu ersetzen, sind die Fundamente der Widerlagspfeiler, wie dies namentlich aus Figur 545 ersichtlich ist, hakenförmig in das unterliegende Kreidegebirge eingearbeitet, so daß also nun ein Verschieben derselben auf ihrer Grundfläche nicht mehr stattfinden kann.

Bei dem in den Figuren 547—549 dargestellten Viaduct der Paris-Versailler Eisenbahn über das Thal von Fleury ist der Bogenschub nicht so bedeutend und haben hier die Widerlager hauptsächlich dem sehr bedeutenden Erddruck des hoch aufgeschütteten Erddamms zu widerstehen. Die Widerlager sind hier ebenfalls hohl und durch horizontale Gewölbe in vier Stockwerke getheilt, die von oben her durch eine kleine bis unten hin führende Wendeltreppe zu begehen sind. Dieser Viaduct wurde zwar ausgeführt, aber die auf

beiden Seiten aufzuführenden Erddämme wurden nicht hergestellt; denn nachdem dieselben kaum eine Höhe von 13 Meter erreicht hatten, fing der Boden an Risse zu bekommen und senkte sich an den meistbelasteten Stellen, während andere weniger belastete Stellen in die Höhe gehoben wurden. Man sah sich daher genöthigt an Stelle dieser Erddämme hölzerne Brücken herzustellen, welche zu einer provisorischen Verbindung dienen sollten.

Bei der in Figur 524 dargestellten Brücke der Durham-Junction-Eisenbahn über das Thal der Wear ist die Construction der Widerlager so angeordnet, daß sie in zwei Theilen bestehen, wovon der eine dem Bogen und der andere dem Erddruck zugekehrt ist. Jeder Theil für sich ist aber wieder zu schwach, dem gegenwirkenden Druck zu widerstehen und sind daher diese Theile jedesmal wieder durch drei Zwischenbogen verbunden, die in der Mitte auf zwei Pfeilern ruhen. Da aber diese Pfeiler nur sehr schwach im Verhältniß zu ihrer Höhe sind und gleichzeitig auch die Dammböschung sich gegen dieselben lehnt, mithin dieselben dem einseitigen Erddrucke ausgesetzt sind, so hat sich auch bereits ein Ausweichen dieser Zwischenpfeiler ergeben und man ist genöthigt gewesen, um den einseitigen Bodendruck gegen die schwachen Pfeiler aufzuheben, die Zwischenräume zwischen diesen Pfeilern nach der Linie a b mit sogenannten Spannmauern auszufüllen. Diese Spannmauern haben nun den Zweck, den einseitigen Bodendruck gegen die schwachen Pfeiler in sich aufzunehmen und ihn auf denjenigen Theil der Widerlagspfeiler zu verpflanzen, der dem 100füßigen Bogen zunächst steht.

Aber selbst auch dann, wenn diese schwachen Pfeiler nicht dem einseitigen Bodendruck zu widerstehen gehabt hätten, ist eine solche Construction nicht zu empfehlen; denn wenn auch diese Pfeiler eine genügende Stärke haben, um der darauf wirkenden senkrechten Last zu widerstehen, so ist doch ihre Standfähigkeit gegen den Schub zu gering und bei einem entstehenden Weichen eines der beiden äußern Theile des Widerlagers tragen sie zur Stützung desselben gar nichts bei.

Eine weit größere Standfähigkeit haben dagegen die Widerlager der in Figur 551 und Figur 552 dargestellten Brücke der London-Birmingham Eisenbahn über den Fluß Sow. Die Widerlager sind hier jedes mittelst dreier 17 Fuß weiter Oeffnungen durchbrochen und mit Bögen überspannt. Es besteht also auch hier das Widerlager aus zwei Theilen, wovon der eine Theil dem Bogenschub, der andere Theil dagegen dem Bodendruck zu widerstehen hat. Der Schub des Bogens ist hier nicht so bedeutend, indem derselbe eine Halbkreisform hat. Größer ist aber der Bodendruck und um diesem einen gehörigen Widerstand leisten zu können, sind die Zwischenpfeiler unterhalb in der Richtung der Stirnflächen noch durch Contrebögen verbunden. Ferner sind auch die drei Zwischenpfeiler nach der Breite der Brücke nicht massiv, sondern sie bestehen jedesmal aus vier einzelnen Pfeilern, die aber wieder durch schmale Quermauern zu einem Ganzen verbunden sind, wie aus der obern Hälfte des bezüglichen Grundrisses und aus dem Durchschnitt näher hervorgeht.

Bei dem in Figur 566 dargestellten Viaduct der rheinisch-belgischen Eisenbahn zwischen Aachen und der belgischen Grenze über das Geulthal besteht

das Widerlager ebenfalls aus zwei Theilen, wovon der eine Theil dem Bogenschub und der andre dem Bodendruck zu widerstehen hat. Die Widerlager sind hier jedes mittelst vier circa 30 Fuß weiter Oeffnungen durchbrochen. Die Mittelpfeiler sind durch zwei Reihen Bögen mit einander und mit den äußern Mauern der Widerlager verspannt. Damit aber die Zwischenpfeiler auf ihrer Grundfläche sich nicht verschieben können, so sind dieselben noch durch Contrebögen mit einander verbunden.

In den Figuren 553—556 ist einer der Widerlagspfeiler der Brücke der London-Birmingham Eisenbahn über den Fluß Colne bei Watford, im Grundriß, so wie im Quer- und Längendurchschnitt dargestellt. Hier schließen sich an die Theile der Widerlagspfeiler unmittelbar und in der Richtung der Stirnmauern der Brücke gerade Flügelmauern an, die mit drei Aussparungen versehen sind, zwischen denen sich nur schwache Zungen befinden. Um den innern Raum des Widerlagers nicht höher mit Erdreich anfüllen zu müssen, als sich der Boden an der Außenseite erhebt, wurden die schmalen Spandrill-Walls der Bögen der Brücke noch zwischen den Flügelmauern fortgesetzt und etwa in der Mitte ihrer Höhe unter einander und mit den Flügelmauern verbunden. Dieses letztere geschah, um den Mauern Stabilität zu verschaffen und das Ausbiegen derselben zu verhindern; diese innern Mauern wurden ferner, um eine möglichste Ersparung an Material zu erzielen, mit denselben Durchbrechungen versehen als die Flügelmauern, was auch hier ganz unbeschadet der Stabilität ihres Widerlagers geschehen konnte.

Das Aeußerste der Aussparung, was bei massiven Widerlagspfeilern Anwendung gefunden haben dürfte, zeigt der Brent-Viaduct der London-Birmingham-Eisenbahn, wovon in den Figuren 595, 596, 598 und 600 verschiedene Durchschnitte und ein Theil des Grundrisses angegeben sind.

Aus den Figuren 595, 596 und 598, welche die Widerlagspfeiler im Längendurchschnitt, im Grundriß und im Querdurchschnitt zeigen, ist die Form der eigentlichen Widerlagspfeiler ersichtlich. Dieselben werden noch durch gerade Flügelmauern nach der Längenrichtung der Brücke hin verstärkt. Diese Flügelmauern (s. Figur 600) stehen aber nach verticaler Richtung nicht gerade, sondern neigen sich nach innen, um dem Bodendruck gut widerstehen zu können, und sind zur Bildung der Brückenbahn durch einen Bogen verbunden.

Wir haben jetzt noch diejenige Form der Widerlager zu besprechen, wo der eigentliche Widerlagspfeiler durch hufeisenförmige, eckige oder gekrümmte Flügelmauern verstärkt wird. Derartige Fälle findet man vielfach in Anwendung gebracht und sollen hier einige derselben näher angeführt werden.

In den Figuren 541—543 ist die Brücke über den Clyde bei Milton dargestellt. Die Flügelmauern, welche eine gekrümmte Form haben, sind hier zur nothwendigen Verstärkung der eigentlichen Widerlagspfeiler angeordnet. Außerdem sind aber noch innerhalb der Flügelmauern in der Verlängerung der Spandrill-Walls der Bögen Standmauern zur fernern Verstärkung der Widerlager angeordnet und mit den äußern Flügelmauern durch Quermauern verbunden. Da nun die beiden äußern Flügelmauern gleichzeitig dazu dienen, den hinter dem Widerlager befindlichen aufgeschütteten Erddamm zu stützen, so

haben sie nicht allein den Zweck, die Widerlager zu verstärken, sondern sie müssen auch eine solche Standfähigkeit erhalten, daß sie dem Erddruck vollständig Widerstand leisten können. Es müssen daher diese Mauern schon eine größere Stärke erhalten, als nothwendig sein würde, wenn sie nur den einen Zweck, nämlich die Verstärkung der Widerlager, zu erfüllen hätten. Denn sind die Flügelmauern zu schwach, so werden sie durch den Druck des dahinter aufgefüllten Bodens sehr leicht zum Ausweichen gebracht und es entsteht dann eine Trennung zwischen diesen Flügelmauern und dem eigentlichen Widerlagspfeiler, welche Trennung aber nicht allein sehr unangenehm für das Auge ist, sondern nicht selten sogar gefährlich werden kann. Es müssen daher die Flügelmauern immer in einer solchen Stärke aufgeführt werden, daß sie überflüssig im Stande sind, den Druck des zwischen ihnen befindlichen Bodens aufnehmen zu können. Um dieses nun im vorliegenden Falle mit einem möglichst geringen Aufwand an Baumaterial zu erreichen, hat man hier die Flügelmauern durch Strebepfeiler an der innern Seite verstärkt. Eine solche Verstärkung der Flügelmauern ist aus den schon angeführten Gründen um so nothwendiger, da sie gleichzeitig zur Verstärkung der Widerlager hier durchaus erforderlich sind und eine innige Verbindung dieser Theile niemals aufgehoben werden darf.

Bei der in den Figuren 526—528 dargestellten Brücke der Glasgow-Grenock-Paisley Eisenbahn über den Fluß Cart sind die zur Verstärkung der Widerlagspfeiler angebrachten Flügelmauern in der Richtung der Stirnmauern der Brücke aufgeführt und zwischen diesen dann der Erdboden aufgeschüttet, so daß hier nicht allein die Flügelmauern, sondern auch der hinter dem Widerlagspfeiler liegende Erddamm denselben überflüssig verstärkt, so daß an ein Ausweichen des Pfeilers durch den Bogendruck nicht zu denken ist, zumal der eigentliche Pfeiler selbst schon eine nicht unbedeutende Stärke hat.

Die Flügel hufeisenförmiger Widerlagspfeiler brauchen verhältnißmäßig nur kurz zu sein, wenn sie blos dazu dienen sollen, die Standfähigkeit des letztern zu vergrößern. Länger müssen sie aber werden, wenn sie als eigentliche Flügelmauern oder dazu dienen sollen, den Fuß der Böschung eines hinter dem Widerlagspfeiler befindlichen Dammes zurück legen zu können. Allein man kann auch die Böschung eines hinter dem Widerlagspfeiler liegenden Erddammes um so schneller erreichen, je kleiner der Krümmungshalbmesser der nach auswärts gekrümmten Flügelmauern ist; in diesem Falle sind sie aber auch nicht geeignet die Standhaftigkeit des Widerlagspfeilers zu vergrößern.

Endlich verstärkt man auch die Widerlagspfeiler sehr zweckmäßig dadurch, daß man mit denselben gleichzeitig an der dem Boden zugekehrten Seite pyramidale Pfeiler aufführt. Solche Pfeiler werden dann zwischen den Flügelmauern angeordnet und je nach der Breite der Brücke einer oder zwei. Ein hierher gehöriges Beispiel zeigt die in den Figuren 579—582 dargestellte Brücke über die Great-Western-Eisenbahn. Einer Beschreibung der Figuren bedarf es hier nicht weiter, indem die Anordnung aus verschiedenen Durchschnitten zur Genüge erhellt.

Man könnte hier endlich auch noch Beispiele von Widerlagspfeilern anführen, die mehrfach bei Brücken zur Anwendung gekommen, die aber weder für den einseitigen Bogenschub, noch für den Druck des hinterliegenden Erddamms allein standfähig genug sind und daher nur durch die gleichzeitige Gegenwirkung von Bogenschub und Bodendruck bestehen. Wir haben jedoch schon zu Anfang dieses Paragraphen das Nöthige darüber gesagt und ist dieses nur noch der Vollständigkeit wegen hier angeführt.

§. 24. Von den Auffahrten.

Die Anordnung der Auffahrten hängt zunächst von der Zahl und Richtung der Straßen ab, welche an der Brücke zusammenlaufen, und dann auch von der Breite und Frequenz derselben. Da aber die vorkommenden Umstände zu mannichfaltig sein können und überhaupt auch die Localverhältnisse zu sehr dabei in Betracht kommen, so lassen sich feste und bestimmte Regeln, welche für alle Fälle passend sind, nicht aufstellen, und wollen wir uns daher damit begnügen, hier einige besondere Fälle anzuführen. Eine Regel, welche auch unbeschadet der Localverhältnisse befolgt werden muß, ist die, daß man den Fuhrwerken immer einen möglichst leichten und sichern Zugang zur Brücke zu verschaffen suchen muß, ohne den passirenden Fußgänger in Gefahr dadurch zu bringen.

In manchen Fällen hat dieses nun seine großen Schwierigkeiten und namentlich dann, wenn die Zugänge zur Brücke sich unter irgend einem spitzen, rechten oder stumpfen Winkel mit der Richtung der Brücke kreuzen und ferner nicht sehr breit sind, wie dies nicht selten in ältern Städten der Fall ist. Kann man dann mit den Widerlagspfeilern bedeutend in den Fluß hineintreten, ohne dadurch bei Hochwasser einen schädlichen Aufstau hervorzubringen, so wird dadurch der Raum vor der Brücke schon erheblich vergrößert und durch die schräge Lage der Flügelmauern gewinnt man nicht allein Raum zur Herstellung eines bequemern und sicherern Fahrweges, sondern es lassen sich dann außerdem auch noch möglicher Weise sichere Fußwege zur Brücke führend, herstellen. Eine solche Freiheit ist aber wohl selten gestattet und innerhalb der Städte am wenigsten, wo die Flüsse schon immer außergewöhnlich eingeengt sind und ein weiteres Einengen derselben selten zulässig ist. In solchen Fällen ist es dann immer sehr schwierig, den gemachten Anforderungen ein Genüge zu leisten, und man kann sich alsdann nur dadurch helfen, daß man die obere Bedeckung der Flügelmauern oder der an die Widerlagspfeiler stoßenden Futtermauern überkragt und dadurch einen Fußweg herstellt, wie dieses unter andern bei der Tuilerien-Brücke zu Paris geschehen, wie in Figur 557 dargestellt ist. Man kann diese Ueberkragung nach einer geraden oder krummen Linie herstellen; jedenfalls wird dadurch aber immer sehr viel Raum gewonnen. Bei der Brücke „Pont-au-Change" hat man eine Fläche abgeschnitten, die sich erst jenseits des ersten Bogens an die Brücke anschließt, wodurch also dieselbe an ihrer Auffahrt ganz wesentlich verbreitert wurde.

Bei der in Figur 521 dargestellten Brücke über die Dora, so wie auch bei der in Figur 537 dargestellten Brücke sind die Auffahrten zur Brücke durch das Heraustreten der Flügelmauern sehr wesentlich verbreitert. Am luxuriösesten sind die Auffahrten jedoch an der Brücke zu Neuilly Figur 571 hergestellt. Hier übertrifft die Breite dieser Auffahrten noch diejenige der darauf zuführenden Fahrstraßen um ein Erhebliches. Die Auffahrten werden hier an beiden Seiten durch mit den Stirnmauern parallel laufende Flügelmauern begrenzt und an diese letztern stoßen alsdann unter einem rechten Winkel Futtermauern an, die auf eine große Länge fortgeführt sind und den zur Brücke führenden Erddamm stützen.

Diese hier angedeuteten Beispiele werden genügen, um das Angeführte zu erklären. Ueberhaupt lassen sich im Allgemeinen keine Regeln darüber feststellen, wie auch schon oben erwähnt wurde, sondern muß es stets dem besondern Ermessen des Baumeisters anheim gegeben werden, wie und auf welche Weise er diese Aufgabe unter besonderer Berücksichtigung der jedesmaligen Oertlichkeit und der dabei sonst hervortretenden Umstände am zweckmäßigsten löst.

§. 25. Von den Leinpfaden.

Um die Communication längs der Ufer eines Flusses nicht zu unterbrechen, ist es in manchen Fällen erforderlich, namentlich wenn die Schiffe durch Pferde oder durch Menschen hinaufgezogen werden, einen Durchgang zu diesem Zwecke hinter dem Widerlagspfeiler unter der Auffahrt zur Brücke anzubringen. Eine solche Anordnung findet man bei mehrern Brücken, als unter andern bei den in den Figuren 529, 537 und 571 dargestellten; diese Anordnung setzt aber immer sehr flache Ufer voraus und muß dabei der Widerlagspfeiler schon immer so weit in das Flußbett hineintreten, daß eine solche Durchfahrt oder ein Durchgang in demselben angebracht werden kann. Wenn nun auch eine solche Einrichtung zur Herstellung einer Communication des Flußufers oberhalb und unterhalb der Brücke zwar sehr bequem ist, so kann dieselbe doch manche andere Nachtheile mit sich führen, welche namentlich erst zur Wirkung kommen bei Hochwasser, indem alsdann durch das weite Hervortreten des Landpfeilers die Durchflußöffnung verkleinert wird und den schnellern Abfluß des Wassers verhindert. Es ist daher jedenfalls viel zweckmäßiger und auch bequemer, wenn die Einrichtung so getroffen werden kann, daß der Leinpfad unmittelbar unter dem Landbogen der Brücke, also außerhalb des Widerlagspfeilers durchgeführt wird. Es wird zu diesem Zwecke eine Futtermauer unter dem Landbogen und in solcher Entfernung von dem Widerlagspfeiler angebracht, als der Leinpfad Breite erhalten soll. Der Raum zwischen dieser Futtermauer und dem Widerlager wird entweder mit Erde ausgefüllt oder überwölbt und darüber alsdann der Pfad angelegt und gehörig gepflastert. Eine solche Anordnung zeigt die in Figur 537 dargestellte Brücke.

Bei Anlegung eines solchen Leinpfades ist jedoch zu berücksichtigen, einmal daß der Fluthraum der Brücke dadurch nicht nachtheilig beengt werde und muß sich also ein überflüssiger Fluthraum unter der Brücke oder doch an dieser Stelle befinden. Ferner muß dieser Pfad so hoch liegen, daß er wenigstens noch bei einem mittelhohen Wasserstande trocken bleibe und auch in dieser Höhe noch hinlänglicher Raum unter dem Gewölbe verbleibe, um die Leinpferde durchzuführen. Es wird also schon vorausgesetzt, daß die Widerlager selbst bis zum Anfange der Gewölbe eine nicht unbedeutende Höhe haben müssen.

Werden die Schiffe nur durch Menschen hinaufgezogen und ist also nur ein hinreichend breiter Fußweg erforderlich, so kann dieser schon dadurch hergestellt werden, daß man das Fundament etwas verbreitert und in dieser Breite lothrecht bis zur Höhe des herzustellenden Pfades aufführt. Man hat alsdann nur darauf zu achten, daß die oberste Deckschicht aus möglichst großen Steinen hergestellt werde und diese unter sich noch eine gehörige Verankerung erhalten.

Bei Herstellung solcher Leinpfade ist auch überhaupt dahin zu sehen, daß dieselben nicht dem unmittelbaren Angriffe des Wassers bloßgestellt werden; es sind deshalb Flügelmauern anzuordnen, welche sich genügend tief in die Ufer hineinziehen und sich möglichst an die Hauptflügel- oder an die Futtermauern anschließen, damit keine Auswaschung oder Unterspülung stattfinden kann.

Neuntes Capitel.

Die Construction der nöthigen Lehrgerüste und deren Aufstellung, so wie die Herstellung der nöthigen Arbeitsgerüste.

---

§. 26. Von den Lehrgerüsten und deren Aufstellung.

Um ein Gewölbe aufführen zu können, ist es erforderlich, daß man zuvor ein Gerüst herstellt, welches das Mauerwerk des Gewölbes in der einmal bestimmten Form so lange unterstützt und trägt, bis dasselbe geschlossen ist und sich selbst tragen kann. Ein solches Gerüst nennt man Lehrgerüst.

Ein solches Lehrgerüst besteht nun, ähnlich wie bei einem Dache, aus mehrern neben einander stehenden verticalen Rippen, die der Quere nach mit einander verbunden werden und auf welche nach horizontaler Richtung Riegel, Schallatten oder Schalbretter zu liegen kommen, welche die Gewölbsteine tragen. Hieraus folgt unmittelbar, daß die Tragfähigkeit der einzelnen Rippen so wie auch des Gesammtgerüstes sich nach der Größe des Bogens, für den sie bestimmt sind, richten muß. Sind die Gewölbe nur klein und demnach auch die Last nicht sehr groß und ferner auch die Zeitdauer, während welcher das

Gerüst die Last der aufzuführenden Gewölbmauer zu tragen hat, nicht lang, so lassen sich die einzelnen Bogenrippen ganz füglich aus Brettern herstellen. Ist dann der Radius des Gewölbebogens sehr groß, so daß der Bogen sehr flach wird, so ist man häufig im Stande, die Bogenrippe aus einem einzelnen Brette herausschneiden zu können. Ist dagegen der Radius nur klein, daß also der Bogen eine größere Höhe erhält, so ist dieses schon nicht mehr möglich und macht man dann Bogenkränze, die aber selten aus mehr als zwei Brettdicken bestehen. Die einzelnen Stücken des Bogenkranzes, welche nach der Form der innern Wölblinie zugeschnitten sind, werden alsdann zusammengesetzt und zwar in der Art, daß die Fugen, in welchen dies geschieht, in der Richtung eines Halbmessers des Bogens liegen. Die zweite Lage wird mit der erstern gehörig fest vernagelt und so, daß die Fugen der einen Lage immer auf die Mitte eines Bogenstückes der andern Lage treffen. Sind dann die Bögen nach der vorgeschriebenen Form hergestellt und an ihren untern Schenkeln noch durch ein angenageltes Brett oder Latte so befestigt, daß ein Auseinanderweichen der Schenkel nicht wohl stattfinden kann, so werden sie in einer Entfernung von etwa 2 bis höchstens 3 Fuß von einander lothrecht, auf einer wagerechten Ebene aufgestellt und mit einigen Schwertlatten gegen ein Umwerfen nach der Seite hin versichert. Die wagerechte Ebene wird dadurch hergestellt, daß man unmittelbar an den Widerlagern des Gewölbes Schwellen legt, die entweder auf aufgeschichteten Steinen oder auf lothrechten Ständern ruhen. Auf diese Schwellen werden die einzelnen Rippen aufgestellt. Damit aber beim Ausrüsten das Lehrgerüste gefahrloser und leichter beseitigt werden kann, so werden unter jeder einzelnen Rippe dünne Keile gelegt, die bei der vorzunehmenden Ausrüstung leicht wegzuschlagen sind und in Folge dessen sich dann das ganze Lehrgerüst senken muß. Sind die Rippen in ihre gehörige Stellung gebracht und durch Schwertlatten gegen das Umkippen vollständig gesichert, so werden die Schalbretter oder Latten aufgelegt, auf welchen die Wölbung ausgeführt werden soll.

Daß solche, wie die eben beschriebenen Gerüste, zu deren Erklärung es übrigens keiner weitern Zeichnung bedarf, sich nur für kleinere Gewölbe eignen, versteht sich wohl von selbst. Wird aber dennoch die Last zu groß, so daß ein Durchbiegen der Rippen vor dem Schlusse des Gewölbes sich zeigt oder zu befürchten steht, so legt man im Scheitel der Rippen unter dieselben ein starkes Brett und bringt unter jeder einzelnen Rippe eine Stütze an. Diese Stützen werden ebenfalls an ihrem obern Ende festgekeilt um nachher bei Wegnahme der Rüstung durch Wegschlagen der Keile auch diese Stützen leicht entfernen zu können.

Wie schon erwähnt, passen solche Lehrgerüste aber nur für kleinere Gewölbe und für solche bis höchstens zu 25 Fuß Weite. Bei größern Gewölben müssen schon andere Vorkehrungen getroffen werden, welche im Folgenden näher angeführt werden sollen.

Die Lehrgerüste zu größern Gewölben bestehen ebenfalls aus mehrern neben einander lothrecht aufgestellten und unter einander verbundenen Rippen, die aber nicht, wie bei den oben erwähnten aus zusammengenagelten Brettern,

sondern aus eigends dazu abgebundenen Holzverbindungen von stärkern Hölzern bestehen. Die Entfernung dieser Rippen von einander hängt nicht allein von ihrer Stärke, sondern auch von der Last ab, welche sie zu tragen erhalten sollen. Statt der Schaldielen werden bei diesen größern Lehrgerüsten Schalhölzer angewendet und es bleibt demnach zwischen der obern Seite einer solchen Rippe und der innern Wölbung, welche beide gleichlaufend sein müssen, ein der Größe des Gewölbes angemessener Zwischenraum, welcher sogar bis $1\frac{1}{2}$ Fuß groß werden kann. Dieser Zwischenraum wird mit den erforderlichen Schalhölzern, die von einer Stirnmauer der Brücke bis zur andern gehen, belegt.

Was die Stellung der Rippen betrifft, so bringt man gewöhnlich unter jede Stirnfläche des Gewölbes eine solche und stellt die dazwischen kommenden so, daß sie gleiche Entfernungen von einander haben. Dies hat aber den Nachtheil, daß, da die Rippen unter den Häuptern nur etwa halb so viel zu tragen haben als die mittlern, diese letztern sich mehr senken, als erstere, wenngleich man gewöhnlich die Steine in den Häuptern etwas höher macht und dadurch die Last vergrößert. Hierdurch wird aber der beregte Uebelstand noch nicht völlig aufgehoben, welcher namentlich nach Wegräumung des Gerüstes erst sehr stark in die Augen tritt. Um daher diesen Uebelstand zu vermeiden ist es nothwendig, daß man die äußern Felder etwas weiter macht, als die mittlern, und zwar muß dies im Verhältniß zu der darauf zu bringenden Last geschehen, so daß die einzelnen Rippen eine möglichst gleich vertheilte Last zu tragen erhalten. Hierdurch erreicht man alsdann eine gleichmäßige Senkung.

Wir haben oben angeführt, daß auf die aufgestellten Rippen Schalhölzer gelegt werden, worüber die Wölbung hergestellt wird. Sind nun die Wölbsteine klein, wird z. B. das Gewölbe von Ziegeln gemacht, so muß eine dichte Lage von Schalhölzern hergestellt werden, deren Oberfläche dann der innern Gewölbfläche gleich ist. In diesem Fall braucht man zwar kein sehr starkes Schalholz, es muß aber dennoch immer so stark sein, daß beim Auftreten oder auch durch die darauf gelegte Last dasselbe nicht durchbiegt. Hierzu muß ferner nur sehr schmales Holz verwendet werden, um eine möglichst gleiche Oberfläche zu erhalten. Bei großen Gewölbsteinen dagegen muß man sehr starke Hölzer anwenden, deren jedes dann unter die Mitte der Leibung einer durchlaufenden Schicht Wölbsteine zu liegen kommt.

Die Unterstützung dieser Rippen kann auf zweierlei Weise geschehen; es können entweder die obersten Verbandhölzer mit ihren Enden und in ihrer Mitte auf festen Unterstützungspunkten ruhen, die durch Holme der mit den Seitenflächen der Pfeiler gleichlaufenden Pfahlreihen gebildet und von diesen letztern getragen werden, oder auch können die erwähnten Verbandhölzer durch Sprengwerke getragen werden, deren Streben sich unmittelbar gegen die Pfeiler oder gegen deren Fundamente stützen. Im erstern Falle nennt man die Lehrbogen oder Rippen unbeweglich, dagegen im letztern Falle beweglich oder gesprengt. Beide Arten von Lehrbogen findet man vielfach angewendet und wollen wir nun untersuchen, welche von beiden die meisten Vorzüge darbietet.

Die Erfordernisse eines guten Lehrgerüstes bestehen darin, daß:

1) es im Stande sein muß, die Gewölbmauer mit voller Sicherheit tragen zu können, ohne sich dabei auf eine nachtheilige Art zu biegen oder gar zu brechen;
2) es soll dabei keine überflüssige Holzverwendung stattfinden, sondern diese nicht größer sein, als zur Herstellung eines soliden Gerüstes nöthig ist;
3) es soll dadurch der Fluß nicht gestauet und die Schifffahrt gehindert werden.

Diese drei Bedingungen sind bei Herstellung des Lehrgerüstes nothwendig zu erfüllen.

Betrachten wir nun zunächst die beweglichen oder gesprengten Lehrgerüste; hierbei besteht jede einzelne Rippe oder Lehrbogen aus einer Reihe Hängebändern, die durch ein System von Streben und Spannriegeln mit einander verbunden sind, und deren Anzahl sich nach der Weite des Bogens richtet. Die Stützpunkte einer solchen Rippe sind an den Enden der untern Streben und die mittlern Stützpunkte entstehen dadurch, daß sich die Streben und Spannriegel gegen einander stützen. Da nun diese Hölzer jedesmal unter irgend einem Winkel gegen einander stoßen, so werden hier auch gleichzeitig so viele Brechungspunkte entstehen, als mittlere Stützpunkte vorhanden sind. So lange ein solcher Lehrbogen noch frei steht, d. h. noch unbelastet ist, ist er, wenn er sonst richtig construirt worden ist, im Gleichgewicht. Dieses findet aber nicht mehr statt, sobald man mit dem Versetzen der Wölbsteine den Anfang gemacht hat und damit so weit fortgeschritten ist, daß die Steine nicht mehr durch die Reibung auf ihrem Lager erhalten werden, sondern gegen das Gerüst drücken. Hierdurch werden die Schenkel des Lehrbogens belastet und herunter gedrückt; der mittlere Theil, nämlich der Scheitel des Bogens hat aber nicht ein solches Gewicht, um dieser Last das Gleichgewicht zu halten und es ist daher die nothwendige Folge, daß der Bogen in seiner Mitte sich heben muß. Da aber durch ein solches Heben des Bogens in seinem Scheitel ein Einsturz desselben möglicher Weise erfolgen kann, wenn man dieses unberücksichtigt ließe und es überhaupt für die spätere Standfähigkeit des Gewölbes erforderlich ist, daß ein jeder auf das Lehrgerüst gebrachte Gewölbstein seine Lage nicht vor dem Schlusse des Gewölbes ändern kann, so ist es nothwendig, daß man das Gleichgewicht des Lehrbogens wieder herzustellen sucht und kann dieses nur dadurch geschehen, daß man denselben in seinem Scheitel belastet. Aber durch Fortsetzung des Versetzens der Wölbsteine wird das Gleichgewicht von Neuem unterbrochen und zur nothwendigen Widerherstellung desselben muß die Belastung des Scheitels des Gerüstes vermehrt und überhaupt der Schluß des Gewölbes beschleunigt werden. Auf solche Art wird das Gleichgewicht des Bogens mehrere Male unterbrochen und wieder hergestellt, so daß der Lehrbogen während der ganzen Dauer der Ausführung des Gewölbes in fortwährender Bewegung ist. Dieses zieht aber nach sich, daß die einzelnen Fugen sich bedeutend öffnen müssen, also die Adhäsion zwischen den Steinen und dem dazwischen gebrachten Mörtel zerstört wird. Setzt man dies nun auch bei Seite, so sind doch andere Uebelstände, welche erheblich hervortreten. Es drücken

nämlich die Wölbsteine, deren Lagerflächen eine geringere Neigung als 38 bis 40 Grad gegen die horizontale Ebene haben, gar nicht auf die Lehrbögen, weil die Reibung zwischen den Steinen so groß ist, daß ein Heruntergleiten derselben nicht stattfindet. Von da an wird aber der Ueberschuß des Druckes über die Reibung immer größer und erreicht sein Maximum, sobald das Loth durch den Schwerpunkt der Schicht über die untere Leibungskante der Wölbsteine trifft, wo dann der Druck gleich dem ganzen Gewichte der Wölbsteine wird. Der Druck, welchen diese Schicht ausübt, vermindert sich aber wieder wenn man mit dem Versetzen der Steine fortfährt; eben so verhält es sich mit den folgenden Schichten; da aber der Lehrbogen hierdurch belastet wird und sich nothwendig senken muß, je mehr das Gewölbe sich dem Schlusse nähert, so geschieht es sehr häufig, daß sich eine gewisse Zahl von Gewölbsteinen in der Luft hält, die früher als sie gelegt wurden, auf den Lehrbogen drückten, was aber nothwendig Unregelmäßigkeiten in der Bestimmung der untern Leibungen der Wölbsteine zur Folge haben muß. Ein anderer Umstand, der in Betracht kommt, ist, daß sich größere Bögen nicht aus wenigen Hölzern zusammenstellen lassen, sondern schon eine größere Anzahl dazu verwendet werden muß. Es kommen daher auch eine größere Anzahl Fugen vor, wodurch, zumal da diese Bögen nur an beiden Schenkeln auf dem Bogenwiderlager sich stützen, auch die Beweglichkeit oder Verschiebbarkeit der Bögen größer wird.

Trotzdem haben manche Baumeister eine solche Beweglichkeit der Lehrbögen während des Versetzens der Gewölbsteine als vortheilhaft angenommen, indem sie von dem Gesichtspunkte ausgingen, daß ein beweglicher Lehrbogen, wenn das Gewölbe sich setzte, ebenfalls nachgäbe und zwar, daß dies schon stattfände vor Einbringung des Schlußsteins und die Form des Gewölbes sich daher bei Wegnahme des Lehrbogens nicht mehr merklich verändern könne, indem der Mörtel schon theilweise eine Pressung mit erlitten und auch einen bedeutenden Grad von Festigkeit schon erlangt habe. Das ist aber nach dem Vorhergehenden nicht so der Fall, sondern ein vollkommener Schluß der einzelnen Fugen erfolgt immer nur erst dann, wenn der Lehrbogen entfernt und das Gewölbe sich selbst frei überlassen ist. Durch das Setzen des Lehrbogens kann aber nie ein Schluß der einzelnen Fugen, wohl aber ein Oeffnen derselben hervorgebracht werden. Es kann daher eine solche Beweglichkeit der Lehrbögen während des Versetzens der Steine nicht als vortheilhaft angesehen werden, sondern es ist die größte Vorsicht nöthig, um diese in ihren Folgen unschädlich zu machen.

Was die festen Lehrgerüste betrifft, so unterscheiden diese sich wesentlich dadurch von den beweglichen, daß sie außer den beiden Stützpunkten an ihren Schenkeln, noch innerhalb derselben mehrere Stützpunkte erhalten. Diese Stützpunkte werden nun gebildet durch Pfeiler, eingerammte Pfähle oder durch sonst auf festen Unterlagen aufgestellte Stützen. Es besteht also hier die einzelne Rippe nicht aus mehrern zusammengesetzten sich gegen einander stützenden Theilen, die ihren eigentlichen Stützpunkt am Ende der Schenkel erhalten, wo sie aufstehen, sondern das Lehrgerüst wird hier durch ein nach horizontaler oder geneigter Richtung mit einander verbundenes System von lothrechten

Pfählen gebildet, worüber dann der Gewölbekranz oder die Lehre des Gewölbes gelegt und befestigt wird. Bei dieser Unterstützung der Rüstung kann zwar dieselbe sich durch Aufbringen von Lasten nicht in dem Grade verändern, wie solches bei den beweglichen Gerüsten der Fall ist; allein ein Verschieben der einzelnen Theile kann doch noch immer stattfinden, indem der Druck von der Gewölbelast vermittelst der Verbindung des Gewölbekranzes nicht vertical auf die Stützen trifft, sondern unter irgend einer geneigten Richtung, welche abhängig ist von demjenigen Winkel, den die obere Bedeckung mit der Stütze bildet. Es ist daher eine Verstrebung der einzelnen Stützen unter sich durchaus nothwendig, um ihnen einen festen Stand gegen alle Seitenwirkungen zu geben. Hat man nun dafür genügend Sorge getragen, so kann eine Veränderung der Bogenlinie durch Verschiebung einzelner Theile nicht mehr stattfinden und kann dann höchstens nur noch eine Veränderung der Bogenlinie durch das Eindrücken der Hirnenden der verticalen Stützen in die Langfasern der darauf gelegten Hölzer entstehen. Eine solche Veränderung kann aber nur sehr gering werden, indem das Gerüst doch immer nur eine zu kurze Zeit steht, als daß die Witterung einen so erheblichen Einfluß auf das Holz ausüben könnte.

Es ist deshalb jedenfalls das feste Lehrgerüst dem beweglichen vorzuziehen. Dies wurde nicht allein bei Gelegenheit der Erbauung der Brücke von Jena vom Conseil der Brücken und Chausseen anerkannt, sondern diese Wahrheit wurde auch durch den glücklichen Erfolg jenes Baues vollkommen bestätigt, indem die Senkung des Gewölbes beim Ausrüsten unverhältnißmäßig geringer war, als bei andern Brücken, deren Gewölbe auf beweglichen Lehrgerüsten ausgeführt worden waren.

Wir wollen nunmehr verschiedene Beispiele von Lehrgerüsten hier näher anführen.

Die bei der in Figur 537 dargestellten Brücke bei Lüttich gebrauchten Bogengerüste (Figur 540) waren schwebend, aber nicht nach dem Polygonsystem angeordnet. Bei der Lichtweite von 20 Meter konnte man noch hinreichend langes und starkes Holz zu den hier erforderlichen Spannstreben erhalten. Die Spannstreben stützten sich in verticale Hölzer, in welche sie mit starken Versatzungen eingriffen. Diese verticalen Stützhölzer lehnten sich unmittelbar gegen die Pfeiler der Brücke und hatten ihren Stützpunkt auf den Pfeilerfundamenten. Die Kranzhölzer waren einem Strebewerke nachgebildet; die beiden Spannstreben, welche den mittlern Spannriegel trugen, stützten sich gegen die erwähnten verticalen Hölzer. Unter diesem obern Strebewerke, welches gleichzeitig das Kranzholz des Lehrbogens bildete, waren noch zwei besondere Sprengewerke hergestellt, und mit dem äußern durch eiserne Schraubenbolzen verbunden. Ferner waren bei einer jeden einzelnen Rippe der Länge nach zwei Paar doppelte horizontale Zangen angeordnet, welche die sämmtlichen Spannstreben umfaßten und diese dadurch in einer unveränderlichen Stellung erhielten. Um die Spannstreben am Ausbiegen zu verhindern, sind diese noch unter sich und mit den verticalen Stützhölzern durch geneigte doppelte Zangen mit einander verbunden. Das Uebrige, so wie die specielle Anordnung

des Ganzen geht aus der Zeichnung hinreichend hervor und bedarf keiner weitern Erklärung; nur was die Aufstellung dieser Bögen betrifft, so soll noch Folgendes darüber angeführt werden. Da jede einzelne Bogenrippe vorher vollständig zusammengesetzt werden konnte, so geschah dies auf einer Bretterrüstung, die auf drei mit einander verbundenen flachen Fahrzeugen gelegt war. Diese Schiffe lagen zwischen je zwei Pfeilern und jedes Schiff hatte einen Richtbaum. Nachdem nun die Rippen auf dem Gerüstboden zusammengelegt und die sämmtlichen Theile derselben unter- und mit einander gehörig fest durch Schraubenbolzen verbunden waren, wurde eine solche Rippe vermittelst der Richtbäume und daran befindlicher Tauwinden in solcher zusammengesetzter Form aufgerichtet und gleich an die gehörige Stelle gebracht. Die Aufstellung der Lehrbogenrippen war daher keiner großen Schwierigkeit unterworfen.

Was nun die Construction selbst betrifft, so ist dieselbe so eingerichtet, daß eine große Beweglichkeit bei Aufbringung von Lasten nicht wohl stattfinden kann; denn erstlich wird der Druck jedesmal durch die Streben unmittelbar auf deren Stützpunkte abgeleitet; ferner aber verhindern die horizontal angebrachten Zangen eine Verschiebung der Construction. Da aber dennoch im Scheitel bei einer ungleichmäßigen Belastung eine solche Verschiebung stattfinden könnte, so ist dem dadurch vorgebeugt, daß gegen die beiden untern und längsten Streben noch kürzere Streben aufgestellt sind, die in der Mitte der untern doppelten Zange gegen einander treffen und daß an dieser Stelle diese Zange noch durch einen verticalen durchgehenden Schraubenbolzen (Hängeeisen) mit dem obersten Spannriegel verbunden sind. Hierdurch wird das System in seinem Scheitel möglichst unverschiebbar gemacht.

In den Figuren 506 und 506 C ist das Gerüst dargestellt, welches zur Wölbung der Bogen an der Brücke zu Cannstatt benutzt wurde. Wegen der geringen Pfeilerstärken und der sehr flachen Wölbungen mußten hier sämmtliche Gerüste auf einmal hergestellt und die sämmtlichen Bögen zugleich zugewölbt werden. In Betreff der Construction der Gerüste hatte man sich dafür entschieden, dieselben von unten her durch verticale Hölzer, die auf dem Grunde standen, zu unterstützen. Da aber eine Verengung des Flußbettes von den nachtheiligsten Folgen für die Stadt Cannstatt werden konnte, so wurden diese Unterstützungen auf ein Minimum reducirt. Die Kranzhölzer der einzelnen Lehrbögen bestanden aus auf einander gelegten Holzcurven, welche sich mit ihren Enden unmittelbar gegen die Brückenpfeiler stützten. Um das Herabsinken dieser Enden durch die darauf gelegte Gewölbelast zu verhindern, waren an jedem Pfeiler auf dessen Fundamentabsatz eine Riegelwand aufgestellt, welche die Kranzhölzer unterstützten. Die mittlern Bogenstützen waren mit den Riegelwänden an den Pfeilern so wie auch unter sich sowohl nach der Länge als auch nach der Breite durch Zangenhölzer mit einander verbunden, so daß ein Ausweichen derselben nicht stattfinden konnte.

Trotz dieser verticalen Unterstützungen der Kranzhölzer zeigten sich dennoch Verschiebungen und zwar der Art, daß schon bei Auflegung der dritten Gewölbschicht die Fugen an den Widerlagern sich sichtbar öffneten. Der Grund dieser Verschiebbarkeit der Gerüste ist wohl weniger darin zu suchen, daß die

Hölzer sich zusammenpreßten oder gar eintrockneten, welcher Umstand doch nur von sehr geringer Wirkung hätte sein können, als vielmehr in der größern Biegsamkeit der einzelnen Curven, woraus die Kränze zusammengesetzt waren. Denn da die Enden belastet waren, dagegen der Scheitel unbelastet, so war es ganz natürlich, daß die Gestalt des Lehrbogens sich verändern mußte, trotzdem die einzelnen Curven mit den verticalen Stützen verbolzt waren. Hierdurch wurden sie keineswegs unverrückbar gemacht, zumal da eine Kraft von oben her fehlte, welche den Lehrbogen überall gleich preßte. Wir haben bereits im 7. Capitel des 2. Bandes bei Abhandlung der Bogenbrücken aus gekrümmten Hölzern über die Bedingungen gesprochen, welche erfüllt werden müssen, um einen Bogen aus gekrümmten Hölzern in seiner Form zu erhalten, worauf wir daher in dieser Beziehung näher verweisen.

Den eben angeführten Bogengerüsten ähnlich sind auch die bei der Brücke bei Besigheim angewendeten. Dieselben bestanden (Figur 514, 514 A, B, C) für jeden der beiden Landbogen in sechs doppelten und für den mittlern Bogen in sechs dreifachen hölzernen Curven, die nach den Umständen auf verschiedene Art unterstützt wurden. In dem ersten Landbogen erhielt jede der gedachten Curven fünf auf Pfählen ruhende Zwischenunterstützungen, in dem zweiten Landbogen mußte aber für die Schifffahrt ein Durchgang gelassen werden, was erforderlich war, weil auch hier wegen der nur geringen Pfeilerstärken die sämmtlichen Bogen gleichzeitig aufgeführt werden mußten, weshalb auch die Anordnung dieses zweiten Bogens von der des ersten verschieden wurde. Es wurde nämlich in der Mitte dieses Brückenbogens eine Oeffnung von 18 Fuß freigelassen und der Theil der Curve, welcher über dieser Oeffnung zu liegen kam, wurde mittelst eines einfachen Sprengwerks auf die benachbarten Pfähle gestützt, wie dies aus Figur 514 näher zu ersehen ist. Die Curven des mittlern Bogens und des andern Landbogens wurden aber wieder durch verticale Stützen getragen.

Die aus zwei an einander liegenden Hölzern bestehenden verticalen Stützen der Curven ruhten (Figur 587 A, B, C, E, F) auf einem doppelten Keilpaare, welches durch zwei andere Keile gegen die beiden Riegel x, x gespannt wird. Beim Aufstellen der Bogengerüste wurden nun, nachdem das Rahmholz e der Pfahlreihe aufgelegt war, erst die Längenhölzer f an ihre Stelle gebracht, sodann die horizontalen Keile g, tüchtig mit Seife eingerieben, gelegt und auf sie die verticalen Stützen mit ihren Querverbindungszangen gestellt. Sobald das ganze Bogengerüst aufgestellt war, wurden die Curven mittelst der horizontalen Keile g geregelt und diese Keile sodann gegen das Verschieben gesichert, indem man zwischen die Längenhölzer f zwei kurze Riegel x, x legte und gegen diese, von oben hinab, die verticalen Keile h, h eintrieb. Beim Niederlassen der Bogengerüste wurden erst die verticalen Keile h, h losgeschlagen, sodann die Riegel x, x weggenommen und endlich die horizontalen Keile g, g auf allen Punkten des Gerüstes zugleich gelöst, wodurch mit leichter Mühe eine vollkommen stete und gleichförmige Senkung erreicht wurde. Die Figuren A, B und C zeigen diese Anordnung in verschiedenen Ansichten von oben, die Figuren E und F aber in Seitenansichten.

In Figur 529 ist ein Theil des Lehrgerüstes der Grovenor-Brücke über den Deefluß bei Chester dargestellt. Da die Spannweite des Bogens hier 200 Fuß betrug und wegen des Felsgrundes unter der Brücke keine Pfähle zur Stützung des Lehrgerüstes sich einrammen ließen, so wurden vier Pfeiler von Mauerwerk aufgeführt, welche die Stützpunkte des Gerüstes bildeten. Auf diesen Pfeilern ruhten nun in gußeisernen Schuhen die unter verschiedenen Neigungen aufgestellten Streben a, a, welche die Kranzstücke jeder einzelnen Rippe trugen. Um ein Verschieben oder ein Durchbiegen der Streben einer Rippe nach ihrer Länge zu verhindern, und überhaupt, um eine solide Verbindung hervorzubringen, welche bei der großen Belastung, die dieses Gerüst zu tragen erhielt, durchaus erforderlich war, wurden zwei Reihen Halbhölzer b, b angeordnet, welche mit den Streben a, a überschnitten waren und durch Schraubenbolzen mit einander verbunden wurden.

Die Kranzstücke jeder Rippe bestanden hier aus zwei Reihen von Bohlen, jede $4\frac{1}{2}$ Zoll dick, welche über die Streben nach der Form des Bogens gekrümmt waren und wobei natürlich die Fugen in beiden Schichten abwechselten.

Bei der geneigten Lage der Streben wurde der Druck der nach und nach von beiden Seiten her vergrößerten Last des Gewölbes unmittelbar auf die bezüglichen untern Stützpfeiler verpflanzt und es entstand hier auf den einzelnen Pfeiler ein Seitendruck, welcher stark genug gewesen wäre, denselben umzuwerfen, wenn nicht gleich anfangs solche Anordnungen getroffen worden wären, diesen einseitigen Seitenschub aufzufangen und unschädlich zu machen. Die Füße der Streben a, a standen, wie schon erwähnt, in gußeisernen Schuhen und diese waren wieder nach der Längenrichtung durch horizontale Streben (Riegel) mit einander verbunden. Da aber das Gewölbe von beiden Seiten her zugleich aufgeführt wurde, so entstanden auf die untern Stützpfeiler zwei entgegengesetzt wirkende Seitenkräfte, die mittelst der horizontal angebrachten Verstrebungen sich vollständig aufhoben und somit unschädlich wurden. Der große Vortheil, welchen dieses Gerüst darbot, bestand hauptsächlich in der Unbeweglichkeit und Unverschiebbarkeit desselben; denn wegen der vielen Unterstützungspunkte der Kranzstücken konnte ein Erheben des Scheitels nicht stattfinden.

In den Figuren 534 und 536 ist ein Theil des Lehrgerüstes dargestellt, welches bei der Wölbung der Kaiser-Franzens-Brücke in Carlsbad zur Anwendung gekommen ist. Dieses Lehrgerüst bestand aus 9 Bogenrippen, welche quer über den Fluß auf die in 8 Reihen eingerammten Langpfähle c und dicht an den Widerlagern auf Ständerwänden ruhten, die auf den Vorsprüngen der Fundamente aufgestellt waren. Ihr Abstand unter sich war durch Verbindungsschwellen und ihre lothrechte Stellung durch Winkelstreben gesichert. Die Stützsäulen i, auf denen der oberste Gerüstbogen oder das eigentliche Kranzholz aufgezapft war, ruhten in centrischer Richtung neben den Widerlagern auf verzahnten Balken k und in der Mitte des Gerüstes auf zwei in einem Abstande von 12 Zoll über einander angebrachten Bögen l. Zwischen diese untern Bögen sowohl, als auch zwischen die untern Enden der Bogenrippen und zwischen die Pfeilerwände, dann in die sämmtlichen Stoßfugen der Rippenhölzer wurden Keile von hartem Holze eingelegt, welche dazu dienten, den einzelnen

Rippen einmal genau die gehörige Stellung zu geben, ferner aber, um sie nach dem Schlusse des Gewölbes herausschlagen und das Lehrgerüst dadurch zum langsamen Senken und bequemen Abnehmen bringen zu können. Das Gerüst wurde für die zu erwartende Senkung am Schlußsteine um 10 Zoll überhöhet und war für die Schallatten und für die darunter zu legenden Keile, also zwischen dem obern Rande der Rüstung und der innern Gewölbfläche, ein Raum von 12 Zoll angenommen.

So zweckmäßig sich nun auch dieses Lehrgerüst bei der Aufführung des Gewölbes erwiesen hat, so ist doch auch keineswegs zu verkennen, daß bei demselben eine nicht unbedeutende Menge Holz überflüssig verwendet ist und man mit einer weit geringern Holzmenge dasselbe Resultat würde haben erzielen können. Man hätte hier die beiden untern Curven ganz weglassen können, hätte man die Langpfähle e, e bis unter das Kranzholz hinauf gehen lassen und die Pfähle durch Riegel und eingesetzte Kreuze mit einander verbunden. Durch diese Anordnung wären auch die vielen Stützsäulen i ganz überflüssig geworden. Die Entschuldigung, daß man einmal eine so große Holzmenge zur Verfügung gehabt habe (s. Förster's Bauzeitung, Jahrgang 1837) kann den mit Recht zu fällenden Tadel in dieser Hinsicht nicht abwenden, und glauben wir, daß es Pflicht eines jeden Baumeisters ist, dahin zu streben, mit den möglichst geringsten Mitteln solide Bauwerke aufzuführen, ohne aber die Grenzen der Möglichkeit zu überschreiten.

Von großer Einfachheit ist der in Figur 564 dargestellte Lehrbogen der Glocester-Brücke. Dieser Lehrbogen ruht auf 5 Reihen Pfähle, die in das Strombett eingesenkt und sowohl nach der Länge als auch nach der Breite der Brücke durch Zangen mit einander verbunden sind. Außerdem ist jede der 5 Pfahlreihen mit einem Holm versehen. Das Kranzholz des Lehrbogens ruht auf geneigten Stützsäulen, die je drei an ihrem untern Ende neben einander sich befinden und ihren Stützpunkt auf dem erwähnten Pfahlgerüste haben; mit seinen Schenkeln stützt sich dasselbe auf den Absätzen der Pfeilerfundamente. Um ein Verschieben der Stützsäulen zu verhindern, sind Spannbalken in Form von doppelten Zangen angeordnet, welche nicht allein die Stützsäulen, sondern auch das Kranzholz des Lehrbogens umfassen. Der obere Spannbalken wird dann noch wieder durch schräge Stützen, die mit ihrem untern Ende auf den Fundamentabsätzen der Pfeiler ruhen, an den Enden unterstützt. Hierdurch wird die Steifigkeit des Lehrbogens noch wesentlich vergrößert. Uebrigens konnte bei diesem Gerüste bei dieser Anordnung nicht leicht ein Verschieben desselben stattfinden, indem vermittelst der unter verschiedenen Winkeln geneigten Stützsäulen der Druck immer auf das untere Pfahlgerüste geleitet wurde, hier aber ohne Wirkung bleiben mußte, indem die untern Stützpunkte dieser Stützsäulen wieder mittelst Spannbalken nicht allein unter einander, sondern auch mit den einzelnen Lehrbögen verbunden waren.

Ein interessantes Beispiel eines Lehrgerüstes, welches zum Theil seine Unterstützung von unten her, zum Theil auch durch angeordnete Hängewerke findet, ist das in Figur 560 dargestellte Lehrgerüst, welches bei der Brücke zu Briançon angewendet wurde. Bei dieser Brücke, welche über die Schlucht der

Dras erbaut ist und eine Spannweite von ungefähr 50 Meter hat, konnten wegen der großen Tiefe keine Mittelpfeiler angebracht werden. Man suchte daher die Spannbalken des Lehrgerüstes durch Säulen zu unterstützen, die ihren Stützpunkt in dem steilen Felsen fanden; wo dies aber nicht möglich war, wurden Hängewerke angebracht und dadurch die Spannbalken unterstützt. Den eigentlichen Lehrbogen unterstützte man durch Streben, die in den Spannbalken befestigt waren. Außerdem wurden aber diese verschiedenen Streben durch Zangen wieder unter sich, so wie auch mit den Spannbalken verbunden, so daß eine gegenseitige Unterstützung stattfand und dadurch die Unverschiebbarkeit des Gerüstes erzielt werden konnte. Einer weitern Beschreibung dieser Figur bedarf es nicht, indem die Construction zur Genüge daraus ersichtlich ist.

In den Figuren 576 und 577 ist das Lehrgerüst dargestellt, welches bei dem Bau der Brücke von Crespano angewendet wurde. Das Gerüst bestand aus 6 Lehrbögen, die von 9 Reihen verticaler, aus doppelten Balken zusammengesetzter Ständer getragen wurden. Acht Reihen dieser Ständer ruhten auf dem Grunde des Thales entweder auf aufgemauerten Pfeilern oder auf den im Flußbette zerstreut vorkommenden Felsmassen. Die neunte Reihe, welche die mittelste bildete und dazu bestimmt war, die Mitte des Gewölbebogens zu stützen, wurde durch ein Sprengwerk getragen, wodurch in der Mitte eine Oeffnung erhalten wurde, hinreichend, um den Gewässern des Wildbachs Astico zur Zeit des Regens einen freien Abfluß zu verschaffen. Dieses hatte man bei dem frühern Bau der eingestürzten Brücke versäumt und dadurch war das Gerüst untergraben und während der Arbeit sehr bedeutend gesunken. Die Standsäulen waren in jeder Reihe etwa 4 Meter von Mitte zu Mitte von einander entfernt; dieselben wurden nach und nach bis zur Höhe des eigentlichen Brückenbogens aufgestellt, und mittelst Stützen, Kreuzverbindungen und eisernen Verbandtheilen so versichert und mit einander verbunden, daß ein vollkommenen Widerstand leistendes System erreicht wurde, bei welchem keine Gefahr vorhanden war, daß es aus der verticalen Lage weichen oder dem ungeheuren Drucke der ganzen Masse des aufzulegenden Gewölbes nachgeben werde.

Was die Lehrbogen betrifft, so wurden die beiden untern Theile der Bogenkrümmung vom Gewölbefuß bis zur Höhe von 30 Grad der Bogenlinie, mit dem Radius von 30,85 Meter beschrieben. Von den festgesetzten Punkten auf 30 Grad Höhe nach aufwärts, wurde die Krümmung der Bögen mit einer Einziehung von 12 Centimeter im Vergleich mit den untern Bogentheilen construirt und mit dem Halbmesser von 20,75 Meter beschrieben, und zwar in der ganzen Länge des Bogens von 120 Grad, so daß dieser Theil concentrisch mit den anliegenden, jedoch um 12 Centimeter tiefer gelegen war, als die dem Bogen zu gebende Krümmung.

Die Herstellungskrümmung oder die Bogenlinie, nach welcher das Brückengewölbe bei der Ausführung hergestellt werden sollte, wurde mit einem Halbmesser von 20,20 Meter in der Art beschrieben, daß deren Scheitelpunkt um 0,65 den festen Lehrbogen, und um 0,57 Meter die eigentlich für das Gewölbe nach erfolgter Senkung festgesetzte Bogenlinie überstieg, da für die letztere ein Pfeil von 16 Meter bestimmt war. Um die Maße der Krümmung zu erreichen,

suchte man die Höhe von 12 Centimetern an den beiden Seitentheilen des festen Lehrbogens, so wie jene von 65 Centimeter in der Mitte durch stärkere und schwächere Polsterhölzer und doppelte Keile zu gewinnen, worüber der Breite der Brücke nach zahlreiche, schwache Tramenhölzer gelegt wurden, welche dann zur Tragung der Bretterlage, über welche der Brückenbogen gelegt werden sollte, dienten. Die zu diesem Ende verwendeten Bretter waren schwach und biegsam, und lagen nach der Richtung der Länge des Bogens oder senkrecht auf die unterhalb liegenden Balken, mit ganz geringen Zwischenräumen von einander.

Um die Unveränderlichkeit der solchergestalt bestimmten Bogenlinie controliren zu können, wurden überdies an den Stirnmauern der Brücke drei horizontale Linien gezogen, auf welche man in einer Entfernung von je $7\frac{1}{2}$ Grad Ordinaten herabließ, um auf diese Weise bei jedem Punkte nach Willkür die Festigkeit und den unveränderten Fortbestand der Rüstung untersuchen zu können.

Was die Keile betrifft, welche bestimmt waren, das Gerüste in der Folge in Bewegung setzen zu können, so wurde denselben nur die geringe Neigung von beiläufig $\frac{1}{7}$ gegeben, um jedes Zurückweichen derselben während des Baues, wo sie einer großen Belastung unterlagen, zu vermeiden.

In den Figuren 577 A und B ist die Anordnung der Verschalung des Gerüstes ersichtlich und zwar sind diese Figuren nach vergrößertem Maßstabe verzeichnet. (Förster's Bauzeitung, Jahrgang 1836.)

In Figur 561 ist ein halber Lehrbogen dargestellt, deren man sich zum Wölbgerüst beim Bau der Brücke zu Neuilly bedient hat. Dieses Lehrgerüst war ein hängendes; es waren in demselben 4 Reihen von Spannstreben so durch Hängesäulen mit einander verbunden, daß der Winkel, welchen zwei dieser Streben mit einander bildeten, jedesmal der Mitte der darunter und unmittelbar darüber befindlichen gegenüber stand. Die erste Anwendung dieses Systems war von Hardou in Monsard bei der ersten Brücke von Moulins, welche bei einer starken Anschwellung des Allier im November 1710 wieder eingestürzt war, gemacht. Nachdem wurden bei mehrern Brücken ähnliche Gerüste angewendet, sie waren aber sehr beweglich. Beim Bau der Brücke zu Neuilly suchte man die große Beweglichkeit dadurch zu vermindern, daß, so wie mit dem Gewölbebau vorgeschritten wurde, auch gleichzeitig das Lehrgerüste im Scheitel belastet wurde. Dieses war nothwendig, um das Emporsteigen des Scheitels zu verhindern. Die Belastung des Scheitels war sehr bedeutend, denn sie betrug nach und nach bis zu 9100 Centner. Als noch 7 Reihen von Wölbsteinen fehlten, senkte sich das Gerüst überall um 7 bis 8 Centimeter und man mußte daher mit dem Schließen des Gewölbes möglichst eilen.

Dieses bedeutende Setzen des Bogens schrieb man dem Umstand zu, daß die Enden der Spannstreben mit ihren Hirnholzflächen um 4 bis 5 Millimeter in die Oberfläche der Hängebänder eingedrungen waren; einige derselben hatten sich gebogen und noch andere, die mit ihren Enden nicht auf ihrer ganzen Fläche auf die Hängebänder gepreßt hatten, waren nach ihrer Länge gespalten. Bei den Brücken von St. Maixence und Concorde, wo man ähnliche Gerüste

anwendete, suchte man diesen Nachtheilen dadurch vorzubeugen, daß man die Endflächen nach einem Kreisbogen abrundete, dessen Mittelpunkt in dem entgegengesetzten Ende der Spannstreben lag. Durch diese Anordnung wurde nun zwar verhindert, daß dieselben nicht spalteten, sie drangen aber dessen ungeachtet eben so tief in die Hängesäulen ein und hatten außerdem noch den Nachtheil, daß dadurch die Möglichkeit der Bewegung und Biegung nur noch vergrößert wurde.

Ein anderes sehr zweckmäßiges und ebenfalls sich frei tragendes Lehrgerüst ist das in Figur 563 dargestellte, welches beim Bau der Waterloobrücke über die Themse zur Anwendung kam. Dieses Gerüste bestand ebenfalls aus einer Menge Spannstreben, die durch Hängesäulen mit einander verbunden waren. Die Kranzstücke des Lehrgerüstes wurden hier durch je zwei Streben gestützt, die unmittelbar von beiden Widerlagern her ihre Unterstützung erhielten. Da aber diese Streben, hätten sie unmittelbar von den untern Widerlagern ausgehen sollen, einmal sehr lang hätten werden müssen, und ferner an den Kreuzungsstellen durch vielfaches Ueberschneiden geschwächt worden wären, so brachte man an diesen Kreuzungsstellen gußeiserne Schuhe an, welche die Enden der Streben an diesen Stellen aufnahmen. Diese gußeisernen Schuhe wurden von den Hängesäulen getragen.

Die beiden Streben, welche jedesmal gegen einander gerichtet sind, werden gegen den Krümmungshalbmesser gleich geneigt, und Hängesäulen in der Richtung dieser Krümmungshalbmesser umfassen die kurzen Spannriegel zwischen jenen Streben und die übrigen Streben selbst in der gewöhnlichen Art, wo sie diese letztern am Durchbiegen hindern. Diese Verbindung bietet jedenfalls eine unveränderliche Form dar, indem der Druck an jedem Punkte des Kranzholzes von den Streben unmittelbar zu den beiden unbeweglichen Widerlagern fortgepflanzt wird.

Das Princip, welches dieser Anordnung zum Grunde liegt, kam zum ersten Male bei der Westminster-Brücke, 1740 von King gebaut, zur Anwendung, und nachdem auch bei der Black-Friars-Brücke. Wir wollen hier eine nähere Beschreibung dieses Lehrgerüstes folgen lassen und namentlich auch die Ausrüstung und die Wiederaufstellung der Lehrbögen näher beschreiben.

Dasselbe bestand unter jedem Bogen aus acht Rippen. Diese acht Rippen ruhten bei den Widerlagern des Bogens, so wie auch bei den Pfeilern auf vier Grundschwellen, die auf die Fundamentabsätze und auf die Deckplanken des Pfahlrostes gelegt waren. Auf diesen Grundschwellen waren die Stützstreben a, a, eingezapft und auf diese wieder die fünf Deckschwellen b, b, aufgezapft; diese letztern, so wie auch die Grundschwellen gingen durch die ganze Breite der Bogenrüstung und gehörten daher allen acht Gerüstrippen an. Auf den Deckschwellen und zwar unter jeder Rippe lagen zu beiden Seiten der Rüstung Lagerhölzer m, die einen sehr wesentlichen Theil des Lehrgerüstes ausmachten. Diese Lagerhölzer bestanden jedes aus drei mit einander verzahnten Stücken, die jedoch eine solche Form erhielten, daß das mittlere als Keilstück diente. Zwischen die Stirnflächen waren Keilstücke gelegt; durch Antreiben dieser Keile war man im Stande, das Gerüst zu heben oder senken zu lassen. Diese Lagerhölzer dienten dem eigentlichen Lehr- oder Bogengerüste als Schwellen und es waren in diese die Streben eingezapft; damit kein Ausweichen dieser Sprengstreben stattfinden konnte, waren noch 4 Zoll dicke eiserne Schienen

auf die Oberfläche der Lagerhölzer m mit den gehörigen Ausschnitten für die Fußenden der Sprengstreben versehen, gelegt und darauf befestigt. Hierdurch erhielten dieselben einen unverrückbaren Stand.

Zur Verbindung und Zusammenspannung der einzelnen Theile jeder Rippe waren neun nach den Mittelpunkten gerichtete, auf gleichen Abständen stehende Hängesäulen so angebracht, daß sie die einzelnen Streben vollständig einklammerten. Diese Säulen wurden oben und unten durch kurze Holzstücke, die in der Figur angedeutet (mit z, z bezeichnet) sind, und die mit Schrauben durchzogen waren, zusammen gehalten; außerdem waren aber oben noch eiserne Bänder angebracht, wodurch ein Ausweichen des Bogenholzes verhindert wurde. An den Kreuzungsstellen der Streben und zwar an denjenigen Stellen, wo mehrere Streben sich kreuzten, also hier an drei Stellen, waren gußeiserne Schuhe angebracht, welche die Enden der Streben aufnahmen. Diese gußeisernen Schuhe wurden jedesmal von einer Hängesäule umfaßt. Diejenigen Hölzer, gegen welche die Streben mit ihren obern Enden sich stützen, waren mit dem Kranz- oder Bogenholze durch Schraubenbolzen befestigt.

Die Streben hatten alle eine Stärke von 12 Zoll, das sämmtliche zu dem Lehrgerüste verwendete Holz war Eichenholz.

Man hatte zur Herstellung der neun Bögen dieser Brücke nur drei Lehrgerüste und es mußte daher ein mehrfaches Versetzen der Lehrgerüste stattfinden. Um aber hierbei nicht an Zeit zu verlieren, hatte man von vorne herein die einzelnen Hölzer sehr stark genommen, und überhaupt jede einzelne Rippe so verbunden, daß sie zusammengesetzt von einer Stelle zur andern transportirt werden konnte. Dieses geschah auf folgende Weise.

Nachdem der Bogen geschlossen war, wurden die zwischen die Stücken der Lagerhölzer m eingetriebenen Keile beseitigt und das mittlere Keilstück zurückgetrieben, wodurch die Rippe sich gleichförmig senkte. Hierauf wurde der Bogen ausgerüstet, d. h. man entfernte die Schalhölzer und brachte ein sehr breites flaches Fahrzeug unter das Gerüste, in welchem 4 Säulen aufgerichtet waren, die mit Sprossen versehen und an deren oberem Ende Flaschenzüge angebracht waren. Während der Fluthzeit wurde nun eine einzelne Rippe an die vier erwähnten Säulen mittelst der Flaschenzüge angehängt und durch das Steigen des Wassers so weit gehoben, daß die Spannstreben aus ihrem Lager traten. Zum Heben dienten aber auch gleichzeitig die Flaschenzüge, deren Enden um auf dem Schiffe befindliche Haspeln gewickelt waren. Bei eingetretener Ebbe senkte sich die auf dem Schiffe dergestalt befestigte, von ihren Unterlagspunkten schon während der Fluthzeit verrückte Rippe, mit dem Fahrzeug selbst, und wurde nun unter den andern Bogen gebracht, dann wieder das Steigen der Fluth abgewartet, der Moment des gänzlichen Stillstandes der Strömung benutzt und das Fahrzeug bis zu der Stelle gebracht und befestigt, wo die Rippe genau auf die schon früher etablirten Ruheflächen zu stehen kommen sollte.

Um die Rippe in eine richtige verticale Stellung über ihre beiden Unterlagspunkte zu bringen, wurden an den beiden Endpunkten der Rippe starke Seile befestigt, deren anderes Ende über Scheiben ging, welche an den beiden Pfeilern mittelst in schon gelegte Werkstücken eingelassene Steinkrampen ange-

bracht waren. Die Enden dieser Seile waren um Drehhaspeln gewickelt, die auf den Pfeilern aufgestellt waren, und wurden dadurch angezogen, und so das ganze Lehrgerüst nach und nach in die Richtung gebracht. Hatte man nun die Rippen genau in ihre Richtung gebracht, so wurden die Flaschenzüge, woran die Rippe hing, nachgelassen und eben so auch die Schraubgeschirre, welche auf dem Fahrzeuge angebracht waren, und dazu dienten, die Rippe mit zu heben.

Eine ähnliche Vorrichtung war auch bei dem Lehrgerüste der neuen London-Brücke, welches in Figur 562 dargestellt ist, angewendet. Der obere Theil dieses Gerüstes oder das eigentliche Lehrgerüst besteht im Uebrigen nach Art des Long schen Systems aus einer Verbindung von Kreuzstreben, Hängesäulen und Spannbalken, die sich in ihrer Verbindung gegenseitig stützen. Ein Verschieben kann bei dieser Construction nicht stattfinden, wohl aber ein Durchbiegen, indem durch die Last, welche nach und nach darauf gebracht wird, die Hirnenden der Streben sich in die Langfasern der Spannbalken einkneifen. Ein solches Eindrücken findet aber im Allgemeinen bei jeder Rüstung statt und kann hier außer Betracht gelassen werden, zumal diese Rüstung eine freie Durchfahrt der Schiffe gestattet. Die Anordnung der Construction ist aus der Zeichnung hinreichend ersichtlich und bedarf es daher keiner weitern Erklärung.

In Figur 583 ist das Lehrgerüst dargestellt, welches man beim Bau der Brücke von Boffalora über den Tessinofluß anwendete. Das Gerüst bestand in seinen Haupttheilen aus einem doppelten Sprengwerke, dessen Streben mit ihren untern Enden gegen das Pfeilermauerwerk und mit ihren obern Enden gegen Hängesäulen drückten die durch einen horizontalen Spannriegel aus einander gehalten wurden. Die Hängesäulen gingen bis zum Kranzholze des Lehrbogens und unterstützten dasselbe. Die Sprengstreben waren wieder durch Bänder unterstützt, die in die Hängesäulen mit Versatzungen eingezapft waren; desgleichen wurde auch der Spannriegel unterstützt, hier bildeten aber die Bänder ein Sprengwerk, indem noch ein kürzerer Riegel angeordnet war, gegen welchen die Bänder sich stützten. In den drei Zwischenräumen zwischen den Hängesäulen und den Widerlagern waren zur Unterstützung des Kranzholzes noch besondere Sprengwerke angeordnet, bei denen die Strebebänder in Hängesäulen eingriffen, die unmittelbar zur Unterstützung des Kranzholzes dienten. Außerdem waren noch Winkelbänder angebracht, welche von den Hängesäulen nach dem Kranzholze hinaufgingen. Durch diese Anordnungen entstanden eine Menge Dreiecksverbindungen, welche natürlich zur Unverschiebbarkeit des Gerüstes beitrugen; dessenungeachtet mußte doch das Versetzen der Wölbsteine sehr vorsichtig und möglichst gleichförmig vor sich gehen, weil, wie auch schon aus der Zeichnung zu ersehen ist, die Construction nicht die Festigkeit hatte, einer ungleichen Belastung widerstehen zu können.

Das in Figur 565 dargestellte Lehrgerüst, welches bei der Brücke über den Neckar bei Ladenburg angewendet wurde, war ganz ähnlich, nur mit dem Unterschiede, daß die Haupthängesäulen der vorigen Figur hier bis auf den Grund heruntergingen, wodurch die Tragfähigkeit des Gerüstes in einem sehr bedeutenden Grade gehoben wurde, und die Beweglichkeit, welche bei der vorigen Construction bei einer ungleichen Belastung stattfinden mußte, hierbei ganz aufhörte.

In Figur 521 ist noch einer der Lehrbogen zur Hälfte dargestellt, deren man sich beim Bau der Brücke über die Doria zu Turin bedient hat.

Dieser Lehrbogen ist eine Nachbildung desjenigen der Brücke zu Neuilly, nur mit dem Unterschiede, daß man wegen der großen Flachheit des einfach gekrümmten Brückenbogens und der Besorgniß, daß das Lehrgerüst die ganze Last der Steine vor dem Schlusse des Gewölbes nicht tragen möchte, das Lehrgerüste im Scheitel durch einen Mittelpfeiler unterstützte, der aus drei Reihen doppelter Pfähle bestand, die unter jeder Rippe senkrechte Zangen bildeten und in der Länge und Breite der Brücke durch horizontale Zangen verbunden waren.

Was die Aufstellung der Lehrgerüste betrifft, so geschieht dieses entweder von Schiffen oder von den nöthigen Arbeitsgerüsten aus, wenn solche erforderlich sind. Sind die Lehrgerüste solche, die sich frei tragen, so geschieht die Aufstellung mittelst Richtbäumen und ist das Verfahren ganz ähnlich, wie bei der Aufstellung der hölzernen Bogenbrücken, worüber im zweiten Bande schon das Nöthige angeführt ist. Ist aber ein festes Gerüst herzustellen, so werden die Pfähle vorher sämmtlich eingerammt und nachdem die Verbindungshölzer und das Kranzholz angebracht.

Wir haben nunmehr noch die Einrichtung der Arbeitsgerüste zu erwähnen, was im folgenden Paragraphen geschehen soll.

§. 27. Die Einrichtung der Arbeitsgerüste.

Die Arbeitsgerüste dienen sowohl zur Ausführung der Fundationen, als auch zur Aufstellung der Lehrgerüste und zur weitern Ausführung der Brücke selbst. Hauptsächlich dienen sie zum Transport des Materials, gleichzeitig aber auch zur Verarbeitung desselben.

Man bedient sich hauptsächlich zweierlei Arten von Gerüsten, entweder der Schiffsgerüste oder der Pfahlgerüste. Die Hängegerüste kommen übrigens auch zuweilen vor und zwar vorzüglich dann, wenn Stellen an steilen Felswänden zu bearbeiten sind, wohin man von unten nicht ohne große Schwierigkeit beikommen kann, oder an den Stirnmauern fertiger Brücken, um die Quaderflächen vollends ins Reine zu arbeiten, oder sonstige Reparaturen daran vorzunehmen.

Diese drei Arten von Gerüsten wollen wir hier nun im Allgemeinen näher beschreiben, ohne weiter Zeichnungen beizufügen, indem diese schon aus der Beschreibung verständlich werden.

Die Schiffsgerüste, welche aus zwei oder mehrern an einander gebundenen oder sonst befestigten platten Schiffen mit einem darüber gelegten Dielenboden bestehen, werden hauptsächlich angewendet beim Einrammen von Spundwänden und Pfählen zu Fangedämmen und zum Einrammen der Gerüstpfähle. Statt der Schiffe kann man sich auch zu diesen erstern Rammarbeiten der Holzflöße bedienen. Zu spätern Ausbesserungen an Brücken be-

dient man sich ebenfalls der Schiffsgerüste, indem diese leicht transportabel und von einer Stelle zur andern zu bringen sind.

Nachdem die Gerüstpfähle sämmtlich eingeschlagen sind und zwar nach der Länge in Entfernungen von 10 bis höchstens 12 Fuß und in der Breite von 8 bis 9 Fuß, werden dieselben durch angenagelte Bohlen, oder durch angeschraubte Riegelhölzer mit einander nach der Längenrichtung verbunden. Nach der Breite werden sie durch Schwerter verbunden, um dem Gerüste eine hinreichende Stabilität zu verschaffen.

Ueber die oben an den Gerüstpfählen wagerecht befestigten Bohlen oder Riegelhölzer, unter welchen an jedem einzelnen Pfahl eine starke Knagge mit langen mindestens 6zölligen Nägeln festgenagelt wird, werden Querhölzer gelegt und darüber kommt der Dielenbelag.

Sollen die Gerüste zum Einrammen der Grundpfähle dienen, so müssen sie so angeordnet werden, daß sie über die Mitte zweier Reihen Grundpfähle kommen und das Einrammen derselben in keiner Weise hindern. Ueberhaupt müssen die Gerüste so angeordnet werden, daß die verschiedenen darauf zu verrichtenden Arbeiten ungehindert vorgenommen werden können. Beim Grundbau bestehen diese namentlich aus dem Einrammen, Ausreißen, dem Absägen der Grundpfähle und aus dem Ausräumen und Ahebnen des Grundes. Die Gerüste müssen aber eine solche Größe erhalten, daß die nöthigen Rammen vollständig Raum finden und außerdem die Gerüste noch 7 bis 8 Fuß über die äußern Reihen der Grundpfähle hinausreichen. Sind dann die Grundpfähle sämmtlich eingerammt, abgeschnitten, so werden die zwischen den Grundpfählen steckenden Gerüstpfähle ausgezogen und der Boden zwischen denselben abgeebnet, was von Gerüsten aus geschieht, die aus längern Balkenhölzern mit übergelegten Dielen bestehen, die auf den äußern Theilen der Gerüste liegen. Erhält eine Brücke mehrere Pfeiler, so werden die nöthigen Pfeilergerüste an einer oder beiden Seiten durch eine Pfahlbrücke (Pfahlgerüste) unter sich und mit den Ufern in Verbindung gesetzt, auf welchen dann das nöthige Material zugeführt wird. Diese letztern Pfahlgerüste werden aber nicht so niedrig angeordnet, als die zur Gründung der Pfeiler erforderlichen Gerüste, sondern sie erhalten gleich eine solche Höhe, daß sie auch später beim Oberbau der Brücke dienen können.

In Figur 506 B und C ist die Anordnung einer solchen Laufbrücke ersichtlich und Figur 249 zeigt eine sehr zweckmäßige Anordnung, um die Materialien nach horizontaler Richtung auf dem Gerüste selbst fortzubewegen.

Eine Vorsicht, welche bei diesen Gerüsten noch erforderlich ist, sobald der Fluß, über den man eine Brücke baut, schiffbar ist, besteht darin, daß man das Gerüst gegen das Anstoßen der Schiffe sichert, was am besten durch Abweisepfähle mit Planken benagelt, geschehen kann.

Die Hängegerüste bestehen entweder aus zusammengezimmerten Kasten oder Pritschen, die vermittelst Tauen an Auslegern oder am Brückengeländer selbst befestigt werden. Diese Gerüste können nur bei leichtern Arbeiten angewendet werden. Bei schweren Arbeiten, als namentlich zum Versetzen von Steinen sind solche Gerüste zu gefährlich; sie finden daher im Allgemeinen auch nur

wenig Anwendung beim Brückenbau, zumal man sich statt ihrer in vielen Fällen weit besser der Schiffsgerüste bedienen kann. Diese Gerüste können dann, vorausgesetzt, daß nur leichtere Arbeiten, als Nacharbeiten von Quadern, Ausfugen und dergleichen auf denselben verrichtet werden sollen, durch einfache Rüstböcke, über welche Dielen gelegt werden, in eine beliebige Höhe gebracht werden, und da dergleichen Böcke auf den Zimmerplätzen meistentheils vorräthig sind, so wird die Herstellung einer solchen Rüstung sehr leicht.

Zehntes Capitel.

Die Ausführung der Pfeiler und Widerlager, so wie der Gewölbe.

---

§. 28. Die Ausführung der Pfeiler und Widerlager.

Ist die Fundamentirung eines Pfeilers oder Widerlagers vollständig hergestellt und, wo es erforderlich ist, die Oberfläche derselben genau abgeglichen, so kann man anfangen zu mauern. Man beginnt nun zuerst mit der äußern Bekleidung der untersten Schicht und läßt in dieser Langbinder und Dickbinder oder Läufer und Köpfe abwechseln. Die mögliche Dicke dieser Quaderbekleidung, so wie auch die Höhe derselben hängt nun im Allgemeinen von den Steinbrüchen ab; man darf aber hierbei die Läufer nicht kürzer als wenigstens anderthalbmal und nicht länger als höchstens dreimal so lang als hoch sein lassen, weil sie sonst bei größerer Länge leicht brechen könnten. Die Köpfe oder Binder müssen gerade so breit als hoch sein und mindestens doppelt so tief in die Mauer reichen, als die Langbinder. Nachdem nun die äußern Quadersteine versetzt sind, wird zur Ausfüllung des innern Raumes geschritten. Diese Ausfüllung besteht gewöhnlich aus rauhem Mauerwerk oder aus Schuttmauerwerk, aus kleinen und großen Steinbrocken und Mörtel bestehend. Da aber dieses Füllmauerwerk sich mehr zusammensenkt, so wird dasselbe, wenn die Schicht abgeebnet ist, mit einem schweren Stampfer zusammen gestoßen und darauf erst vollständig abgeebnet. Dieses Ausfüllen mit Mauerwerk ist aber nicht sehr empfehlenswerth, und es ist weit besser, den innern Raum mit gehörig bearbeiteten rauhen Steinen im Verbande auszumauern. Eine wesentliche Vermehrung der Baukosten wird zwar dadurch hervorgerufen, jedenfalls aber auch eine größere Festigkeit des Bauwerks erlangt. Ist nun die untere Schicht ganz vollendet und die sämmtlichen Fugen ausgegossen mit dünnem Cementmörtel, so wird mit der Versetzung der zweiten Schicht der Anfang gemacht. Hier wird auch zuerst mit der äußern Bekleidung angefangen. Gewöhnlich legt man die Werkstücke auf Keile von Holz und läßt den Lagerfugen

eine Weite von etwa 3—4 Linien. Diese Holzkeilchen oder Späne werden 4—6 Linien von dem äußern Rande abgelegt und dienen hauptsächlich dazu, die Kanten zu schonen, daß diese nicht schartig springen und die Stirnflächen gehörig einrichten zu können. Die Höhlung zwischen den Steinen wird dann mit Mörtel gefüllt, den man mittelst einer langen gezähnten Kelle einzustopfen sucht. Dieses Verfahren ist zwar für die schnelle Einrichtung der Werkstücke auf ihrer Lagerstelle sehr bequem, allein es hat den großen Nachtheil, daß die Steine dadurch ein hohles Lager erhalten, was bei einer starken Pressung von oben leicht eine Sprengung einzelner Steine hervorbringen kann, es ist daher dieses Verfahren durchaus nicht empfehlenswerth.

Weit zweckmäßiger ist die folgende Methode, wenngleich sie etwas umständlich ist. Man bringt den Stein auf sein Lager, indem man unter seine Kanten dünne Bleistreifen legt, welche verhindern, daß beim Kanten des Steines die Ränder schartig springen, und sucht nun den Stein erst gehörig einzurichten. Nachdem dies geschehen, hebt man den Stein wieder ab, läßt aber die kleinen Bleiplättchen liegen und breitet nunmehr über den untern Stein eine Mörtellage von hydraulischem Kalke und feinem durchgesiebten Sande aus. Hierauf legt man den obern Stein, welcher vorher an seiner Lagerfläche gehörig angefeuchtet wird, wieder auf und stampft ihn dann mit einer schweren hölzernen Stampfe so weit nieder, bis er wieder sein richtiges Lager erhalten hat. Die dünnen Bleiplättchen, welche aus Dachblei geschnitten werden, können zur Erhöhung wenig beitragen und es läßt sich überhaupt auch annehmen, daß die Oberflächen der Steine nie so genau bearbeitet sind, daß ein solch' geringes Bleiplättchen dem Steine eine hohle Lage in dem Maße gebe, daß solche gefährlich werden könnte, zumal da sich noch ferner annehmen läßt, daß eine weitere Zusammenpressung der Mörtellage nicht stattfinden wird.

Statt der Schuttmauer zur Ausfüllung des innern Raumes der Pfeiler läßt sich auch sehr zweckmäßig Ziegelmauerwerk in hydraulischem Mörtel aufgeführt, anwenden; jedenfalls erhält man dadurch ein weit regelmäßigeres Mauerwerk. Eine ungleiche Senkung zwischen dem äußern und dem innern Mauerwerk bleibt aber nicht aus, wenn auch nur in sehr geringem Maße, indem das Ziegelmauerwerk wegen der vielen horizontalen Mörtelfugen sich mehr zusammenpreßt, als die äußere Quaderbekleidung, bei welcher nur wenige horizontale Fugen vorhanden sind. Dem läßt sich nun dadurch vorbeugen, daß man das Mauerwerk nur mit dünnen Fugen ausführt und den Kalkmörtel stark hydraulisch macht; ferner der Ausfüllung und Ausgleichung einer jeden Quaderschicht erst hinlänglich Zeit zum Trocknen läßt, oder doch so lange wartet, bis der Mörtel in den Fugen gebunden hat. Hierdurch wird zwar ein Zeitverlust hervorgerufen werden, der aber bei Wasserbauten, wenn sie einmal in Angriff genommen sind, möglichst vermieden werden muß, da ein solcher nicht selten sehr bedeutenden Kostenaufwand nach sich ziehen kann. Sieht man aber davon ab, und will nur ein tüchtiges Mauerwerk herstellen, so ist die hier vorgeschlagene Art der Herstellung sehr zweckmäßig, zumal man dabei im Stande ist, das Mauerwerk so aufzuführen, daß die Lagerflächen der Steine zusammenhängende Flächen bilden.

Ein festes und gut geschlossenes Mauerwerk erhält man, wenn man zu dem innern Füllmauerwerk nur Steine von derselben Höhe anwendet, wie die äußere Quaderbekleidung und durch den ganzen Pfeiler das Mauerwerk in einem gehörigen Verband aufführt. Die Steine einer Schicht unter sich durch eiserne Klammern zu verbinden ist zwar ganz zweckmäßig, aber nicht nothwendig, indem es sich wohl schwerlich ereignen dürfte, daß durch einen gegentreibenden Körper aus einer völlig geschlossenen Quaderschicht einzelne Steine heraus gestoßen werden. Was aber hierbei durchaus nothwendig ist, ist daß auch die Verticalfugen vollständig mit einem schnell bindenden Gußmörtel ausgefüllt werden.

Eine überall sehr gleichmäßige Senkung des Pfeilermauerwerks in sich erhält man ferner, wenn man die Pfeiler ganz aus Ziegelsteinen aufführt. Man nimmt hierbei zur äußern Bekleidung die hartgebrannten Ziegelsteine, die sogenannten Klinker, und im Innern die weniger stark, aber durchaus gar gebrannten Ziegelsteine. Die Steine werden genau im Verbande in stark bindendem hydraulischen Mörtel vermauert und sobald eine Schicht vollendet ist, werden die verticalen Fugen (Stoßfugen) mit demselben Mörtel ausgegossen, so daß das Mauerwerk nachher einen Körper ohne alle Höhlungen bildet. Die einzelnen horizontalen Mörtelfugen erhalten eine Dicke von $^1/_4$ bis höchstens $^3/_8$ Zoll; die einmal angenommene Fugenstärke muß aber durch das ganze Pfeilermauerwerk beibehalten werden. Da die Ziegelsteine jedoch nur eine geringe Dicke haben und bei den blosliegenden Schichten der Fundamentabsätze die zurückgezogenen dünnen Schichten nicht genügenden Widerstand leisten können, so ist es nothwendig, daß man die untern Fundamentabsätze aus Quadersteinen herstellt und mit dem Ziegelmauerwerk erst dann beginnt, wenn die reine Mauer anfängt. Bei einem so geschlossenen Mauerwerke ist ein anderer Schutz, als z. B. durch Quadersteine an den Vorderköpfen nicht weiter erforderlich. Man hat wenigstens keine hervorragenden Beispiele, wo durch Eisgang oder durch sonst gegen die Brückenpfeiler schwimmende Körper ein so geschlossenes Mauerwerk bedeutend beschädigt wäre; wohl aber hat man sehr häufig die Fälle, daß die Schiffer beim Durchführen der Schiffe mit ihrem Bootshaken die Kalkfugen zerstören und dadurch ein häufiges Nachsehen und Ausbessern der beschädigten Fugen erforderlich machen.

Um an Material und Arbeit bei Aufführung der Pfeiler zu sparen und doch einen großen Grad von Steifigkeit zu erreichen, hat man die Pfeiler nach der Längenrichtung der Brücke durchbrochen und gleichsam mit Durchgängen versehen, oder auch dieselben hohl ausgeführt. Nach der Längenrichtung durchbrochene Brückenpfeiler theilen solche in zwei, oft wohl auch in mehr Theile, die nur im Grunde und in der Nähe der Bogenanfänge eine Verbindung mit einander haben, wie dies in Figur 597 zu ersehen ist. Einer solchen Construction kann aber nie die Steifigkeit nach allen Seiten hin verliehen werden, wie dies durch ein geschlossenes Mauerwerk geschieht. Ferner aber ist eine solche Construction auch bei Strombrücken unzweckmäßig, weil einmal durch diese Durchbrechungen eine größere Pfeilerlänge erforderlich ist, und diese den Abfluß verhindern würde, und ferner, weil in dieselben sich leicht durchtreibende Körper

8*

festklemmen können. Weit zweckmäßiger ist daher der Pfeilerhohlbau. Bei Strombrücken werden dann natürlich die Pfeiler in soweit sie unter Wasser zu stehen kommen und der Einwirkung von treibenden Körpern ausgesetzt sind, nicht eigentlich hohl gelassen, sondern mit Bruchsteinen ausgemauert. Eine solche Ausfüllung macht die Pfeiler widerstandsfähiger gegen den Stoß antreibender Körper und verhindert auch das Durchfließen von Wasser. Die Pfeiler der 28 Fuß weit spannenden Bögen der Maidenhead-Brücke (Figur 544, 545) sind hohl gebaut. Eben so sind auch noch die Pfeiler Figur 597 außer der Durchbrechung nach der Längenrichtung hohl ausgeführt, welche Ersparung an Material aber sicher wohl zu weit getrieben ist, zumal da die Bögen, mit welchen die Durchbrechungen der Pfeiler überspannt sind, die über denselben liegende Last nicht ganz gleichmäßig auf die Schäfte übertragen und ferner diese Bögen nothwendig noch Horizontalschub erzeugen, dessen Bestreben dahin geht, den Pfeiler oberhalb seiner Durchbrechung aus einander zu schieben. Es ist daher die Durchbrechung der Pfeiler nach der Längenrichtung der Brücke nicht zu empfehlen, zumal wenn noch hohe Mauermassen über die Oeffnungen kommen. Dagegen sehr zu empfehlen ist der Hohlbau und hat man dabei nur darauf zu sehen, daß die Umfangswände in gehöriger Weise durch Zangen mit einander verbunden werden.

Die Pfeiler im Aeußern aus einem gemischten Mauerwerk aus Ziegelsteinen und Werksteinen abwechselnd bestehen zu lassen, ist nicht zu empfehlen, wohl aber ist es nothwendig, daß man an den Stellen, wo eiserne Ringe zum Anbinden von Schiffen angebracht werden, diese in Quadersteinen befestigt. Eben so sind die Decksteine der Vor- und Hinterköpfe zweckmäßig von Sandstein anzufertigen, da diese mehr Schwere haben, den Pfeiler besser überdecken und weniger leicht zu beschädigen sind. Will man aber dennoch ein gemischtes Mauerwerk anwenden, so kann solches in der Art geschehen, daß das Ziegelmauerwerk mit dem Sandsteinmauerwerk schichtenweise abwechselt.

§. 29. Die Ausführung der Gewölbe.

Sind die Pfeiler und Widerlager in einer oder der andern Art bis zu ihrer vorgeschriebenen Höhe, nämlich bis zum Anfange der Brückengewölbe aufgeführt, so werden die nöthigen Lehrgerüste, so wie auch die Arbeitsgerüste aufgestellt, und nachdem dies geschehen, zur Ausführung des Gewölbes geschritten.

Die Gewölbe können nun entweder aus Quader- oder Bruchsteinen, oder auch aus Ziegelsteinen hergestellt werden.

Verwendet man Quader- oder Bruchsteine zu einem Gewölbe, so wird die Anzahl der auf einander folgenden Gewölbeschichten in jedem geraden Bogen, welche immer eine ungerade sein muß, gewöhnlich durch die Mächtigkeit der Bänke in den Steinbrüchen und durch die Qualität der Materialien, über welche man verfügen kann, bestimmt. Die Steine erhalten dann jeder die Gestalt eines Keils und da es nothwendig ist, daß alle Theile, woraus das

Gewölbe zusammengesetzt wird, namentlich in den beiden Flächen, welche die Lagerfugen bilden, gleichen Widerstand leisten, so müssen diese Fugen sämmtlich senkrecht auf die innere Wölblinie sein, und fallen also somit mit dem jedesmaligen Krümmungshalbmesser des Gewölbebogens zusammen.

Die ruhenden Lagen der Wölbsteine oder die Anfänge des Gewölbes können bei denjenigen Bögen, welche 180 Grad enthalten, wie andere Quadern noch auf ein vollständiges Mörtelbett versetzt werden. Bei den folgenden Schichten, welche zu ihrer Unterstützung schon eines besondern Gerüstes bedürfen, hört dies aber auf, und können diese mit einer Mörtellage nicht mehr versetzt werden, weil solche wegen der größern Neigung der Lagerfugen abfließen würde. Man versetzt alsdann die Wölbsteine trocken und reihenweise nach der Breite der Brücke auf die Lagerbalken und richtet sie durch untergelegte Keile so, daß sie in die vorher bestimmte Lage genau zu liegen kommen. Damit es aber möglich wird, die Fugen mit Mörtel ausfüllen zu können, so legt man zwischen dieselben dünne Holzkeilchen, die von dem äußern Rand der Steine etwa 5—6 Linien entfernt sind. Statt dieser Holzkeile kann man auch sehr zweckmäßig dünne Bleistreifen anwenden. In der innern Wölbung werden alsdann die Fugen mit Werg oder mit einem sonst tauglichen Material ausgestopft und diese nun mit einem Gußmörtel von oben ausgegossen. Wenngleich dieses Verfahren auch noch nicht volle Sicherheit gewährt, so ist es dennoch wohl das zweckmäßigste, um die Lagerfugen zu füllen und die Unebenheiten derselben auszugleichen. Der so eingegossene Mörtel schwindet zwar, sobald er zu binden anfängt; allein man kann eine zu starke Volumenverminderung dadurch verhindern, daß man, sobald der Mörtel zu binden anfängt, denselben mit einer langen gezähnten Kelle einstreicht und aufs Neue Mörtel nachgießt. Dieses Verfahren muß so häufig wiederholt werden, als es nothwendig erscheint.

Man könnte auch die Wölbsteine unmittelbar an einander legen, dabei müßten aber die Fugenflächen sehr sorgfältig abgeschliffen und die Stirnflächen dann vorläufig nur aus dem Rauhen zugerichtet sein, damit sie an den Rändern nicht schartig sprängen. Allein auch bei der größten Sorgfalt würden immer kleine Erhabenheiten in den Lagerflächen nicht zu vermeiden sein und bei der starken Pressung, die die Gewölbsteine zu erleiden haben, würde ein Zersprengen einzelner Steine unvermeidlich sein.

Sobald das Lehrgerüste anfängt die Last der Wölbsteine zu tragen, so drücken sich die Schenkel nach und nach tiefer ein, und der Scheitel hebt sich in Folge dessen. Um ein solches ungleiches Verschieben des Bogens nun weiter zu verhindern, wird, wie auch schon weiter oben angeführt wurde, das Lehrgerüst im Scheitel verhältnißmäßig belastet. Diese Belastung hat aber zur Folge, daß das Gerüst sich setzt und im Scheitel verflacht, weil die verschiedenen Centralstreben oder deren Stellvertreter durch Ausbiegung und Eindrückung in einander sich verkürzen, und zwar tritt dies um so stärker ein, je näher man mit dem Versetzen der Steine dem Schlusse kommt. Ist das Lehrgerüst nun ein sehr festes, welches in der Mitte noch von unten her vom Grunde aus gehörig unterstützt wird, so werden sich diese Bewegungen im

Ganzen nur sehr mäßig zeigen; aber dennoch wird auch hier die Gesammtwirkung für den hergestellten Bogen die sein, daß er im Scheitel niedriger wird, als ursprünglich der unbelastete Lehrbogen daselbst stand. Man muß daher gleich von vorn herein darauf Rücksicht nehmen und den Lehrbogen überhöhen, wovon im folgenden Paragraph weiter die Rede ist. Um nun die hieraus entstehende Abweichung von der bestimmten Wölblinie unschädlich zu machen, läßt man die schon liegende Schicht etwas vor der nächstfolgenden nach unten hin vorstehen, so daß sich an den Fugen geringe Einschnitte zeigen und der Rand des Gewölbes gezahnt erscheint. Die hierdurch entstehenden kleinen Ungleichheiten lassen sich aber beim Nacharbeiten ohne große Schwierigkeiten wegschaffen und ist dies auch hauptsächlich nur in den Häuptern nöthig.

Bei den beweglichen in der Mitte sich frei tragenden Lehrgerüsten tritt diese Erscheinung aber um so stärker hervor; denn hierbei hat der Scheitel ein weit größeres Bestreben in die Höhe zu steigen, sobald die Schenkel belastet werden, und tritt dieses Bestreben um so stärker hervor, je größer die Belastung der Schenkel wird. Hierbei ist es daher durchaus erforderlich, daß nicht allein immer zwei gleicharmige Schichten in beiden Schenkeln zugleich versetzt werden, sondern es muß auch sorgfältig darauf gesehen werden, daß der Scheitel des Gerüstes immer verhältnißmäßig belastet und so dem Drucke auf die Schenkel desselben das Gleichgewicht gehalten wird. Dies hat aber zur Folge, daß das Lehrgerüst fast fortwährend seine Lage verändert und es ist unmöglich, diese Veränderung so richtig zu beurtheilen, daß durch Auflegen oder Wegnehmen von Lasten das Gerüst der Art im Gleichgewicht erhalten wird, daß es genau die vorgeschriebene Form beibehalte. Um aber diesem hieraus entstehenden Nachtheile nicht erst in der Nähe des Schlusses abhelfen und also die Richtung der Lagerflächen daselbst plötzlich abändern zu müssen, ist es nothwendig, daß man schon bei den zuerst auf die Schenkel des Gerüstes lastenden Wölbschichten die jedesmalige Abweichung der obern Lagerfläche ausmittelt und darauf die erforderliche Abänderung schon bei der nächstfolgenden Wölbeschicht macht. Dieses Verfahren wiederholt sich bei allen folgenden Schichten, in welchem Falle dann in der Regel eine Abänderung der Dicke der Keile, der Lagerflächen und eine geringe Erhebung der untersten Leibungskante der folgenden Schicht genügen wird. Um aber dies gehörig beurtheilen zu können, muß die Neigung jeder Fugenfläche mit der Verticalen bestimmt sein und an dem Gewölbe unmittelbar gemessen werden können. Dies kann auf mehrerlei Art geschehen.

Zuerst berechnet man zur Bestimmung der Neigung der Lagerflächen eine Tafel der rechtwinkeligen Coordinaten derjenigen Punkte, in welchen die wagerechten Linien durch die äußern Enden der Lagerfugen die Ebene des Hauptes in einer lothrechten Linie als Abscissen-Linie schneiden müssen. Hieraus läßt sich dann die Entfernung einer jeden Fuge von der lothrechten Linie nehmen und an Ort und Stelle selbst durch unmittelbares Messen die Abweichung ermitteln. Die Correction des Gewölbes selbst ist zwar dann noch Schwierigkeiten unterworfen, man kann ihr aber durch oben angegebene Mittel zu Hilfe kommen.

Ein anderes Verfahren, um die Abweichung der Lagerflächen zu ermitteln, wendete Perronet an, und zwar bestand dies in der Anwendung eines Quadranten, welcher als Schrotwage benutzt wurde. Die Anordnung dieses Quadranten, welcher in Figur 559 A dargestellt ist, war folgende:

Auf einem quadratförmigen Rahmen wurde ein Viertelkreis so befestigt, daß der Mittelpunkt zu demselben in einer gegenüber liegenden Ecke des Rahmens befindlich war. Durch diesen Mittelpunkt wurde eine feine Schnur gezogen, an deren unterem Ende ein Bleiloth befestigt war. Aus diesem Mittelpunkte wurden dann ferner auf dem Viertelkreise drei Kreisbogen beschrieben, die mehrere Linien von einander entfernt waren. Auf den innersten Bogen bis zu dem mittlern wurden die Grade der Bogen getragen, aus denen die krumme Linie zusammengesetzt war; zwischen den andern beiden Kreisbogen wurden aber die Winkel eingetragen, unter welchen die einzelnen Schichten der Wölbsteine zu liegen kommen sollten. Zu größerer Deutlichkeit soll ein hierauf bezügliches Beispiel angeführt werden. Bei der Brücke zu Mantes z. B. bestand die Hälfte des großen Bogens Figur 559 aus 6 Kreisbogen, wovon der erste 40 Grad und die andern fünf jeder 10 Grad enthielten. Es wurde daher der Quadrant oder der Viertelkreis Figur 559 A in 90 Theile getheilt, wovon 40 Theile für den ersten und für jeden der folgenden immer 10 Theile genommen wurden.

Um nun die Theilungslinien für die einzelnen Wölbsteine auf den Rand des Quadranten auftragen zu können, hatte man bei jedem einzelnen Bogen, aus welchen die krumme Linie zusammengesetzt war, folgende Proportion: der Halbmesser des jedesmaligen Bogens verhält sich zum Halbmesser des Quadranten wie die Stärke jeder einzelnen Wölbschicht, welche bekannt ist, zu einer unbekannten Größe x, welche die Größe des Theils auf dem Quadranten angiebt. Auf diese Weise wurde bei jedem einzelnen Bogen der krummen Linie verfahren und man erhielt alsdann bei einer fortgesetzten Theilung hiernach, eine eben so große Anzahl Theile als Wölbsteinschichten angeordnet werden sollten. Diese Theile konnten auf dem Quadranten aber nicht gleich sein, indem bei der Gleichheit aller Schichten für jeden andern Kreisbogen von verschiedenem Halbmesser eine andere Theilung nothwendig entstehen mußte. Treffen nun bei der Ausführung die einzelnen Fugen jedesmal mit einem zwischen zwei Bögen gemeinschaftlichen Halbmesser zusammen, so kann man auf dem Quadranten die festgesetzte Anzahl von Graden in so viele gleiche Theile eintheilen, als jedesmal Wölbschichten angeordnet werden sollen. Trifft eine Fuge mit dem gemeinschaftlichen Halbmesser zweier Bögen nicht zusammen, so hat man die Entfernungen der beiden nächsten Fugen von diesem Halbmesser zu suchen, indem man diese unmittelbar auf der Zeichnung mit dem Zirkel mißt und für jeden Kreisbogen alsdann die oben angeführte Proportion in Anwendung zu bringen. Die Größe x, die man hieraus findet, hat man nun auf dem Quadranten der bezüglichen Theilungslinie auf beiden Seiten derselben abzutragen. Was dann von den einzelnen Bögen jedesmal noch übrig bleibt, theilt man in so viele gleiche Theile, als in dem bezüglichen Gewölbebogen Wölbsteinschichten enthalten sind.

Kommen aber in einen Bogen Wölbsteinschichten, deren innere Seiten eine ungleiche Breite erhalten, so müssen, um die reducirten Werthe dieser Seiten zu finden, eben so viele Proportionen angesetzt werden, als Wölbsteinschichten vorhanden sind und die daraus gefundenen Werthe müssen sodann in derselben Ordnung aufgetragen werden, in welcher die Wölbsteine auf einander folgen.

Wenngleich nun diese Operationen auch etwas umständlich und beschwerlich sind, so sind sie doch nichts desto weniger unumgänglich nothwendig. Bei kleinern Bögen und zwar bei solchen von etwa 30 bis höchstens 40 Fuß Spannweite, wobei man voraussetzen kann, daß die Senkung des Gerüstes nur unbedeutend sein werde, kann man sich auch dadurch helfen, daß man oberhalb und unterhalb der Brücke Pfähle einrammt und hieran Lehrbögen von Brettern oder Bohlen befestigt, die nach derselben Bogenlinie, welche das Gewölbe erhalten soll, angefertigt sind. Auf diese Bogen trägt man die einzelnen Schichten genau ab, und spannt man dann von einem Bogen zum andern Schnüre aus, so lassen sich die entstehenden Abweichungen sehr leicht ermitteln. Hierbei ist daher erforderlich, daß diese Bögen immer gleich anfangs schon eine durchaus richtige Stellung erhalten.

Um eine gehörige Spannung im Scheitel des Gewölbes hervorzubringen, wird der Schlußstein gewöhnlich mit einer Handramme von Holz eingetrieben. Hierdurch wird nichts weiter als die Aneinanderpressung der vom Scheitel aus nach den Bogenanfängen hin liegenden Lagerflächen der Wölbsteine bezweckt. Die Wirkung dieses Verfahrens erstreckt sich nun aber nicht bis zu einer großen Entfernung vom Scheitel hin und um daher diese Wirkung noch weiter fortzupflanzen, hat man nach theilweiser Einrammung der Schlußsteine auch gleichzeitig die Schalhölzer niederwärts zu treiben, und dann hiermit, so wie mit dem Eintreiben der Schlußsteine abwechselnd fortzufahren. Die Schlußsteine müssen, um den beabsichtigten Zweck gehörig zu erreichen, genau passend vorgerichtet sein, weil sie sonst entweder zerschlagen werden, oder wenn sie eingetrieben sind, den für sie bestimmten Raum nicht gehörig ausfüllen oder nicht die erforderliche Spannung geben. Bei dieser Operation ist aber ferner durchaus erforderlich, daß das Gerüst gehörig unterstützt werde, damit keine bedeutenden Erschütterungen entstehen, die für das Ganze nur vom größten Nachtheil sein würden.

Ist das Gewölbe geschlossen, so pflegt man wohl, um das Oeffnen der Fugen an der innern Gewölbfläche zu verhüten, hölzerne oder steinerne Keile in die Fugen an der äußern Gewölbfläche einzutreiben. Allein dieses Verfahren ist nicht so zweckmäßig, als es im ersten Augenblick erscheinen möchte; denn dadurch, daß die Fugen an der äußern Gewölbfläche mit Steinzwickeln oder Schieferstücken oder mit Holzkeilen ausgefüllt werden, wird nach Wegnahme des Lehrgerüstes eine gleichmäßige Zusammenpressung der Lagerfugen verhindert, und es muß erst recht daraus ein Oeffnen der Lagerfugen an der innern Wölbung entstehen. Es ist daher jedenfalls das oben schon angegebene Verfahren, nämlich das sorgfältige Ausfüllen der Fugen mit Mörtel vorzuziehen. Gauthey schlägt, in Bezug hierauf, vor, die Fugen mit einem solchen Mörtel auszufül-

len, der, wenn er trocken wird, an Volumen zunimmt und den man erhält, wenn man sehr feinen Cement mit ungelöschtem pulverisirten Kalke und Wasser in einem durch Versuche für jeden einzelnen Fall zu bestimmenden Verhältnisse nimmt.

Statt der angewendeten Steinzwickel oder Schieferstücken ist es viel zweckmäßiger, wenn man sich langer dünner eiserner Keile bedient, die man angemessen dicht neben einander in die Lagerfugen der Schlußsteine eintreibt, indem sie sämmtlich möglichst gleichmäßig angezogen werden. Ein sehr gutes Ausfüllungsmaterial der hierdurch geöffneten Fugen bietet dann das Blei unter Zusatz von etwas Antimon, um es leichtflüssiger und zugleich beim Erkalten härter zu machen. Mit dieser Legirung werden die geöffneten Lagerfugen und eben so auch die Stoßfugen der Schlußsteine ausgegossen, ohne die eingetriebenen eisernen Keile hierauf zu entfernen. Uebrigens ist es sehr zweckmäßig, wenn man vor dem völligen Schluß eines Gewölbes noch einmal sämmtliche Lagerfugen nachsieht und dieselben sorgfältig mit Gußmörtel ausgießt. Berühren sich dann die Lagerflächen bereits sehr dicht, dann kann man auch, ohne unverhältnißmäßig große Kosten aufzuwenden, die Fugen mit der erwähnten Bleilegirung ausgießen, welche jedenfalls noch besser als der Cementguß ist.

Beim Bau der Brücke bei Mantes ließ Perronet, um schon vor Wegnahme des Lehrgerüstes eine Zusammenpressung der Fugen in der Nähe des Schlusses zu bewirken, in der Nähe der innern Wölbung auslaufende Einschnitte in der obern Lagerfläche der Wölbsteine ausarbeiten und darin flache hölzerne Keile zwischen vorher eingelegte mit Seife bestrichene sehr schwache Latten eintreiben. Dies hatte aber zur Folge, daß mehrere Wölbsteine zersprangen, weshalb derselbe dieses Verfahren auch beim Bau der Brücke zu Neuilly und bei andern Brücken nicht wieder anwendete.

Um die Fugen gehörig ausgießen zu können, müssen die Lagerbalken, worauf die einzelnen Wölbschichten versetzt werden und während der Herstellung des Gewölbes ruhen, so gelegt werden, daß man zu den Fugen an der innern Wölbung gelangen und diese mit Werg oder Lehm verstopfen kann, damit der von oben eingegossene Mörtel oder die eingegossene Bleilegirung nicht ausfließe.

Daß die Wölbsteine der verschiedenen Schichten unter einander im Verbande sein müssen, versteht sich von selbst und braucht hier nicht weiter aus einander gesetzt zu werden.

Bei den Gewölben aus Hausteinen treten aber noch manche andere Umstände ein, die durchaus nicht unberücksichtigt bleiben dürfen. Reicht z. B. die Länge der Steine für die Dicke der Gewölbe nicht aus, so daß man mehrere Lagen über einander anordnen muß, so dürfen in solchen Fällen die einzelnen Lagen nicht jede für sich ausgeführt werden, sondern man muß dieselben mit einander möglichst innig verbinden, indem man an vielen Stellen Binder anordnet, die durch beide Schichten durchstrecken; außerdem muß man die Steine der obern Lage in die der untern Lage eingreifen lassen. Eben so müssen auch die Steine beider Lagen in jeder durchstreckenden Wölbschicht genau keilförmig bearbeitet sein und darf man nicht darauf rechnen wollen, die Fugen zwischen den obern Lagen mit mehr Mörtel oder mit Steinzwickeln oder Steinabfällen auszufüllen. Hierdurch würde nur eine ungleichmäßige Zusammenpressung der

Fugen hervorgebracht werden und dies könnte möglicher Weise den Einsturz des Gewölbes zur Folge haben. Von einer Deckung der Fugen der untern Lage durch Steine der obern Lage darf also keine Rede sein, indem dadurch kein gehöriger Verband erlangt werden, jedenfalls aber ein ungleiches Senken des Bogens, so wie auch eine Trennung der Schichten und Lagen von einander zu erwarten sein würde. Was endlich das Ausfüllen der Fugen der untern Lage betrifft, so muß dies vor Aufbringen der Steine der zweiten Lage vollständig beschafft sein, indem sonst diese Arbeit unmöglich gemacht oder doch nur höchst mangelhaft ausgeführt werden würde.

Eine sehr mangelhafte Verbindung erhält man auch, wenn man in den Stirnmauern der Gewölbe breitere Steine anwendet, als im Innern derselben, und zwar in der Art, daß die Fugen in den Stirnflächen sich nicht durch die ganze Breite des Gewölbes erstrecken. Da hierdurch im Innern zwischen den Stirnmauern der Gewölbe eine größere Anzahl von Fugen erhalten wird, als in den Stirnmauern selbst, so ist auch die nothwendige Folge davon, daß das Gewölbe im Innern sich stärker zusammendrücken muß, als in den Häuptern. Dies ist aber sehr nachtheilig, denn da die Häupter nicht der Senkung des übrigen Theils des Gewölbes folgen können, so ist eine Trennung derselben von dem übrigen Gewölbe ganz unvermeidlich und die Folgen davon sind leicht einzusehen.

Wir kommen nun zur Ausführung der Gewölbe aus Ziegelsteinen. Wenngleich schon einige sehr großartige Brücken in Ziegelsteinen ausgeführt sind, als unter andern die 40,4 Meter weit spannende Brücke von Crespano, so hat man doch im Ganzen noch wenig Neigung gezeigt, dieses Material mehrfach anzuwenden. Es mag nun dies daher rühren, daß man in manchen Gegenden den Sandstein billiger beziehen kann, als die Ziegelsteine und ferner diese auch nicht immer von der gehörigen Güte zu erhalten sind. Jedenfalls läßt sich aber aus den vorhandenen Beispielen entnehmen, daß sie nicht allein sehr zweckmäßig zur Anwendung sind, sondern auch den großen Vortheil einer leichtern Behandhabung und Verarbeitung haben.

Bei der Herstellung der Brückengewölbe aus Ziegelsteinen kommt es zunächst vornehmlich darauf an, daß die Ziegelsteine alle von einer Größe und Stärke sind; ferner aber müssen sie durchaus gar und hartgebrannt sein, so daß sich schon bis zu einem gewissen Grade eine Verglasung bei denselben zeigt. Die schiefen und beim Brande sich zu stark verworfenen Steine müssen zurückgelegt werden, indem bei Anwendung derselben zu starke Fugen entstehen würden. Diese zurückgelegten Steine lassen sich dann zu Hintermauerungen und dergleichen Arbeiten zweckmäßig verwenden, wo eine etwas stärkere Fuge keinen weitern Nachtheil hat. Die Fugen im Gewölbgemäuer müssen alle von gleicher Stärke sein und nicht über $^3/_8$ Zoll betragen. Ferner müssen dieselben durchaus voll sein, und jede Schicht muß, nachdem sie durchgemauert ist, vollständig mit Mörtel ausgegossen oder ausgefüllt werden. Daß ferner die Steine sämmtlich in einem richtigen Verbande vermauert werden müssen, versteht sich von selbst und bedarf wohl keiner weitern Erörterung. Da bei diesen Gewölben der Verband hauptsächlich durch das Bindemittel, nämlich durch den

Mörtel, hergestellt wird, so ist bei diesen Arten von Gewölben das Aufsteigen und Niedersinken des Lehrgerüstes nicht allein sehr unangenehm, sondern auch sehr schädlich, weil der durch das Bindemittel hergestellte Verband sich mit der Oeffnung der Fugen aufhebt, aber nicht wieder hergestellt werden kann. Es ist daher bei diesen Gewölben vor allen Dingen darauf zu sehen, daß der Bewegung des Lehrgerüstes während der Aufmauerung eines Bogens genügend vorgebeugt werde. Diesem kann nun zwar einigermaßen dadurch ein Genüge geleistet werden, daß man vor dem Beginn des Einwölbens das zur Herstellung erforderliche Material auf das Lehrgerüst bringt und genügend über das Ganze vertheilt. Da aber, wie wir bereits oben angeführt haben, bei den beweglichen Lehrgerüsten die Bewegung auch dadurch noch nicht ganz gehoben wird, so ist es jedenfalls am zweckmäßigsten, bei solchen Gewölben, wo der durch das Bindemittel hergestellte Verband erhalten werden muß, nur feste von Grund auf unterstützte Lehrgerüste oder doch solche anzuwenden, die nicht verschoben werden können und übrigens der Einwirkung der Belastung hinreichend widerstehen können. Auch selbst bei festen Gerüsten müssen diese Gewölbe von beiden Seiten her ganz gleichmäßig und gleichförmig ausgeführt werden und darf man auch nicht die zeitweilige Correction der Wölbungslinie außer Acht lassen, so wie ebenfalls auch immer die richtige Lage der Lagerflächen eingehalten werden muß. Den Schluß dieser Gewölbe kann man sehr zweckmäßig aus einer durch die ganze Breite des Gewölbes sich erstreckenden Schicht von Quadersteinen herstellen und gilt in dieser Beziehung dann das bereits oben darüber Angeführte.

Die Herstellung von Gewölben aus Ziegel- und Quadersteinen zugleich ist ganz unstatthaft, es wäre denn, daß man die Schichten von Quadersteinen mit denen aus Ziegelsteinen nach der Breite des ganzen Gewölbes regelmäßig abwechseln ließe. Ganz und gar unstatthaft und durchaus nicht empfehlenswerth ist, wenn man bei Ziegelsteingewölben die Häupter aus Quadersteinen bestehen lassen wollte. Das Ziegelsteinmauerwerk erleidet hier wegen der größern Fugen eine bedeutend stärkere Zusammenpressung als das Mauerwerk aus Quadersteinen und es würde daher im Fall der Anwendung nothwendig eine ungleiche Senkung entstehen, welche aber eine Trennung der Stirnmauern von dem übrigen Theil des Gewölbes nothwendig zur Folge haben müßte und sehr bedeutende Nachtheile für das Bauwerk nach sich ziehen würde.

Ist das Gewölbe vollendet, so darf man nicht sogleich die Gewölbewinkel bis zur ganzen Höhe ausmauern; eben so wenig darf man auch die Stirnmauern gleichzeitig mit dem Gewölbe aufführen, weil einmal daraus entsteht, daß der Gewölbebogen nicht die Spannung annehmen kann, die er haben muß, soll dessen Horizontalschub ein möglichst kleiner werden; ferner aber entstehen auch daraus nach der Ausrüstung Risse und Sprünge in den Stirnmauern, welche so stark werden können, daß ein Abtragen dieser Mauern erforderlich werden kann. Da es aber dennoch nothwendig ist, daß die Gewölbeschenkel gleich von vorn herein das nöthige Gleichgewicht erhalten, so mauert man gleichzeitig mit der Aufführung des Gewölbes die Gewölbewinkel etwa bis zur Höhe der ruhenden Lagen in der ganzen Breite der Brücke aus und von da

ab weiter mit zurückgezogenen Schichten, so daß die Hintermauerung zwar auf dem Pfeiler, aber nicht über dem Gewölbe ihre völlige Höhe erhält. Ist dann das Gewölbe ausgerüstet und hat sich dasselbe völlig zusammengesetzt, so daß keine Senkung weiter verspürt wird, so werden die Stirnmauern aufgeführt und die Hintermauerungen der Gewölbeschenkel vollendet.

Endlich muß hier noch bemerkt werden, daß wenn die Pfeiler nicht eine solche Stärke erhalten, daß sie als Widerlager dienen, wie dies wohl in den meisten Fällen geschieht, so müssen alle Bögen zugleich eingerüstet und die sämmtlichen Gewölbe gleichzeitig und gleichförmig aufgemauert werden. Sind die Lehrgerüste schwebend, so ist diese Maßregel durchaus unerläßlich nothwendig; bei stehenden Gerüsten ist es zwar auch erforderlich, aber nicht in einem so hohen Grade, weil dabei die Gerüste nicht so bedeutend ihre Gestalt verändern und demnach auch nicht die bedeutenden Einwirkungen auf die einzelnen Mittelpfeiler hervorbringen können. Dienen die Mittelpfeiler als Widerlager oder kann man sie doch als solche betrachten, so werden, wenn die Brücke mehrere Bögen erhält, die beiden ersten Bögen anfänglich eingerüstet und während man den ersten dem Widerlager zunächst gelegenen Bogen einwölbt, legt man auf dem nächsten ebenfalls einige Reihen Wölbsteine an, welche Anordnung dazu dient, allen Verschiebungen des Pfeilers, die möglicher Weise von dem einseitigen Drucke entstehen könnten, vorzubeugen. Ist dann der erste Bogen fertig, so rüstet man ihn aus und setzt das Gerüst in die dritte Oeffnung, und indem man nun den zweiten Bogen zuwölbt, verfährt man damit wie beim ersten. Dieses Verfahren findet jedoch nur dann Anwendung, wenn man an Kosten für Lehrgerüste sparen will. Besser ist es aber jedenfalls, wenn man sämmtliche Bögen auf einmal einrüstet und auch die Wölbung sämmtlicher Bögen gleichzeitig vornimmt.

§. 30. Bestimmung der Ueberhöhung der Lehrgerüste.

Wir haben oben gesehen, daß es unmöglich ist, ganz zu verhindern, daß ein Lehrbogen unter der darauf liegenden Gewölbelast sich setze. Es ist daher nöthig, daß man gleich anfangs den Lehrbogen für eine solche Wölbung einrichtet, die etwas mehr Höhe hat, als die innere Wölbung behalten soll, und man muß demnach den Lehrbogen etwas überhöhen. Aber nicht allein aus diesem Grunde ist der Lehrbogen zu überhöhen, sondern auch wegen der Senkung, welche das Gewölbe nach der Ausrüstung durch die weitere Zusammenpressung der einzelnen Fugen erleidet. Denn sind die Fugen des Gewölbes auch sehr eng angeordnet, so wird nach der Ausrüstung desselben dennoch die Last des alsdann frei schwebenden Gewölbes die schon eng zusammen gestellten Fugen noch enger zusammenpressen. Es ist daher nothwendig, bei Bestimmung der Ueberhöhung auch hierauf Rücksicht zu nehmen. Wie viel aber nun diese Ueberhöhung betragen müsse, ist sehr schwierig zu bestimmen, indem die spätere Senkung des Gewölbes nicht allein von der Gestalt der Wölblinie, sondern auch von der Art der Verbindung des Lehrbogens, so wie auch ferner in einem

hohen Grade von der Genauigkeit der Ausführung des Gewölbes und des Lehrbogens abhängig ist. Außerdem wirken aber noch manche Umstände ein, als z. B. die Beschaffenheit der Fugenflächen und des Mörtels, so wie auch der Einfluß der Zeitdauer, während welcher das Gewölbe noch unausgerüstet bleibt, welche Umstände aber für die Theorie nicht gehörig bestimmt werden können, wenigstens nicht so, daß sie in der Rechnung aufgenommen werden können.

Wenngleich nun hiernach alle theoretischen Berechnungen darauf unanwendbar sind und die Bestimmung der Ueberhöhung nur nach Erfahrungen und Beobachtungen bei ausgeführten Brückenbauten gemacht werden kann, so halten wir es doch für angemessen, dasjenige, was Langsdorf darüber sagt, hier näher anzuführen.

Derselbe sagt sehr treffend, daß die Größe des Setzens des Gewölbes, vorausgesetzt, daß dasselbe sonst in allen seinen Theilen richtig und sorgfältig construirt sei, von der Differenz der Bogenweite und der Höhe des Gewölbes abhänge und je größer diese ist, desto bedeutender wird die Senkung. Da aber hierbei die Theorie durchaus keine Anleitung zu einer genauen Bestimmung dieser Senkung geben kann, so hat derselbe eine Formel zur annähernden Bestimmung gegeben, welche unmittelbar aus der Praxis hergeleitet ist. Bezeichnet z. B. S die Senkung, w die Weite des Bogens und H die Höhe desselben, so ist die Formel

$$S = \frac{w - H}{60}.$$

Den in dieser Formel vorkommenden Nenner bestimmte Langsdorf nach der von Perronet beim Bau der Brücke zu Neuilly angenommenen Ueberschuß der Brückenbogen, welche 18 Zoll und also den sechzigsten Theil der erwähnten Differenz betrug.

Nehmen wir aber einmal einen allgemeinen Werth x für den Nenner an, so daß also der Ausdruck $S = \frac{w - H}{x}$ wird und untersuchen nunmehr hiernach, wie viel die Ueberhöhung bei verschiedenen Brücken, deren Senkung bekannt ist, hätte betragen müssen, so finden wir:

1) bei der Brücke zu Nogent, deren Korbbogen 93,6 Fuß rhein. weit und $\frac{1}{3}$ gedrückt war, und dessen Senkung erst am Ende eines Jahres aufhörte und 17 Zoll betrug,

$$S = 17 = \frac{93,6 - 31,2}{x}, \text{ und hieraus } x = 44.$$

2) Bei der Brücke zu Mantes, deren großer Bogen eine Spannweite von 120 Fuß und eine Höhe von 36 Fuß hat, senkte sich derselbe während des Wölbens um 12,4 Zoll und nach der Ausrüstung noch um 8,6 Zoll, mithin betrug die Senkung im Ganzen 21 Zoll.

$$\text{Hier ergiebt sich } S = 21 = \frac{120 - 36}{x}, \text{ und hieraus } x = 48.$$

3) Die Bögen der Brücke von Nemours hatten eine Spannweite von 51,7 Fuß und waren $^1/_{17}$ verdrückt. Dieselben hatten sich den Tag nach der Ausrüstung um 3,6 Zoll gesetzt und setzten sich zuletzt 7,7 Zoll.

Hier war also $S = 7{,}7 = \frac{51{,}7 - 3{,}04}{x}$ und es ergab sich hier $x = 63$.

Aus diesen angeführten Beispielen sieht man, daß man annähernd $x = 60$ annehmen kann. Diese Annahme gilt jedoch nur für solche Bögen, die über hängenden Lehrgerüsten gebaut werden. Wendet man feste Lehrgerüste an, so beträgt die Senkung jedenfalls viel weniger, indem die einzelnen Hölzer sich nicht so sehr in einander drücken können und also der Theil der Senkung, welcher aus der Ineinanderpressung der einzelnen Hölzer des Lehrbogens entsteht, bedeutend vermindert wird.

Bei der Brücke von Jena zu Paris wendete man ein stehendes Lehrgerüst an. Die Spannweite der Brückenbögen ist 89,6 Fuß und sind dieselben $^{10}/_{84}$ verdrückt. Die Senkung betrug hier während der Wölbung auf dem Lehrbogen nur 3,2 Zoll und die ganze Senkung nach der Ausrüstung nur 4,6 Zoll, wo man dagegen eine Senkung von 8,4 Zoll erwartet hatte.

Zur Bestimmung von x hat man hier den Ausdruck

$$S = 4{,}6 = \frac{89{,}6 - 10{,}66}{x} \text{ und hieraus } x = 206.$$

Da aber der vorliegende Fall als ein besonders günstiger angesehen werden kann und bei Annahme von $x = 206$ in allen Fällen nicht immer ein solches günstiges Resultat erhalten werden möchte, so scheint es jedenfalls angemessener, für die Fälle, wo ein stehendes Lehrgerüst angewendet wird, $x = 150$ anzunehmen, und hiernach dann die Ueberhöhung des Bogens näher zu bestimmen.

Elftes Capitel.

Die Ausrüstung der Bögen, die Ausmauerung der Gewölbschenkel und die Vollendung der Brücke.

---

§. 31. Die Ausrüstung der Bögen.

Das Ausrüsten der Brückenbögen ist ebenfalls ein sehr wichtiger Gegenstand und es kommt dabei zunächst die Frage vor — ob es besser sei, daß der Lehrbogen sofort nach Einbringung des Schlusses weggenommen werde, oder erst nachdem der Mörtel etwas Zeit gehabt hat, zu erhärten. — Diese Frage läßt sich nicht bestimmt beantworten; man hat sowohl das Eine wie auch das Andere gethan, und in beiden Fällen hat man sowohl gute als auch schlechte Erfolge gehabt. Rüstet man gleich nach dem Schlusse des Gewölbes aus, so ist ganz

natürlich, daß, da der Mörtel noch weich ist, das Gewölbe sich stärker zusammensetzen wird, als wenn dies später geschieht, wo der Mörtel schon einige Consistenz erhalten hat und mehr erhärtet ist. Eine zu späte Ausrüstung wird aber auch nicht vortheilhaft sein, denn ist der Mörtel in den Fugen ganz erhärtet, so wird nach erfolgter Ausrüstung doch jedenfalls immer eine Bewegung im Gewölbe entstehen, welches sich bei sonst guter Ausführung vollständig ins Gleichgewicht setzen wird. Da aber der Mörtel in den Fugen erhärtet ist und also der Zusammenpressung nicht mehr in dem Maße nachgeben kann, wie vielleicht erforderlich, ferner aber auch mit der Erhärtung des Mörtels eine Volumenverminderung desselben verbunden ist, so entsteht bei Wegnahme des Lehrgerüstes eine Bewegung im Gewölbe, die jedenfalls zur Folge haben wird, daß das Gewölbe nicht die gehörige Spannung annimmt und sich einzelne Fugen im Gewölbe noch mehr öffnen, anstatt sich vollständig zu schließen. Dieses letztere ist daher gar nicht zu empfehlen; aber auch das sofortige Ausrüsten nach erfolgtem Schlusse des Gewölbes würde immer gewagt erscheinen, wenngleich man mehrere Beispiele, von gutem Erfolge begleitet, schon gehabt hat. Da nun weder das Eine noch das Andere zu empfehlen ist, so wird es am rathsamsten sein, mit dem Ausrüsten so lange nach erfolgtem Schlusse des Gewölbes zu warten, bis der Mörtel angezogen und einige Consistenz gewonnen hat, aber noch solche Weichheit besitzt, daß er bei Lichtung des Lehrgerüstes ein noch dichteres Schließen der einzelnen Fugen zuläßt. Damit der Mörtel eine solche Consistenz gewinne, ist eine Zeit von 8 bis 14 Tagen erforderlich, in welcher also die Ausrüstung vorzunehmen ist; damit aber der Mörtel in den Schenkeln des Gewölbes nicht zu hart werde, so ist es durchaus erforderlich, daß bei einer sonst möglichst sorgfältigen Arbeit die Ausführung des Gewölbes möglichst schnell vollzogen werde. Es ist aber dennoch nicht zu vermeiden, daß der Mörtel hier mehr erhärtet als oben, und da auch beim Setzen des Gewölbes während der Arbeit die Fugen an den untern Theilen des Gewölbes sich nothwendig öffnen werden, so ist es jedenfalls sehr gut, daß man vor der Ausrüstung die sämmtlichen Fugen an der Oberflächen des Gewölbes nochmals mit sehr flüssigem Mörtel ausgieße.

Bei Gewölben aus Bruchsteinen ist es wegen der größern nicht so schnell austrocknenden Menge des Mörtels vortheilhaft, mit der Ausrüstung noch einige Zeit länger zu warten und die Rüstung dann nicht auf einmal ganz wegzunehmen, sondern sie anfangs nur zu lüften und dann wenigstens noch zwei Monate mit der völligen Ausrüstung zu warten, damit der Mörtel sich recht innig mit den Steinen verbinden könne. Dasselbe ist auch zweckmäßig bei den Gewölben aus Ziegelsteinen.

Das Ausrüsten kann auf mehrerlei Art bewerkstelligt werden und richtet sich zunächst darnach, welche Construction dem Lehrgerüste gegeben ist.

Bei kleinern Brücken, so wie überhaupt bei kleinern Gewölben, wobei man, wie schon früher angeführt wurde, die Rüst- oder Lehrbogen auf Keile stellt, schlägt man nach dem Schlusse des Gewölbes die Keile heraus, wodurch sich dann das ganze Gerüst senkt und die einzelnen Lehrbogen mit der darauf liegenden Verschalung leicht herausgenommen werden können.

Bei größern Lehrgerüsten, wo die einzelnen Rippen oder Lehrbogen nicht auf untergelegten Keilen stehen, sondern unmittelbar auf Schwellen oder Rähmen, so wie auch bei stehenden Gerüsten ist das gewöhnliche Verfahren beim Ausrüsten folgendes. Zuerst werden die Lagerkeile und Balken oder Schalhölzer an den Anfängen der Bögen, und wenn derselben mehrere sind, an allen zugleich ausgeschlagen und weggenommen. Mit dem Ausschlagen der Keile und dem Wegnehmen der Schalhölzer fährt man dann gegen den Scheitel fort und zwar immer gleichmäßig. Bei solchem gleichförmigen Ausschlagen muß auch nothwendig die Senkung der Bögen gleichmäßig erfolgen. Je weiter gegen den Scheitel wird aber das Herausschlagen der Keile immer schwieriger, indem der Druck des Gewölbes auf das an seinen Schenkeln schon von Keilen und Balken befreite Lehrgerüst stärker wirkt und falls das Gerüst ein freischwebendes ist, dieses vermöge seiner Beweglichkeit mit den Schenkeln in die Höhe gehen kann. Um daher die Lagerkeile auch im Scheitel des Gewölbes bequem herausnehmen zu können, bringt man an den Stellen der frühern Keile und Schalhölzer kleine verticale Stützen an, die unten spitz zugehauen sind. Ein solches Zwischenstellen kleiner Stützen oder Spreizen ist auch schon wegen der Sicherstellung der dabei beschäftigten Arbeiter erforderlich, weil beim Herausschlagen der Keile in der Nähe des Schlusses der Lehrbogen sich zu plötzlich heben und daraus leicht Gefahr für die Arbeiter entstehen kann. So wie sich nun die untern Spitzen der untergestellten Stützen stumpf zusammendrücken, so werden sie wieder zugespitzt, dabei aber immer von den Anfängen der Bögen gegen den Scheitel hingegangen. Auf diese Weise setzt sich das Gewölbe allmälig und das Lehrgerüst wird immer mehr von dem Druck der Gewölbelast befreit, so daß man es endlich bequem herausnehmen kann. Diese Arbeit muß aber, wie auch schon angeführt, wenn die Brücke mehrere Bögen hat, bei allen Bögen zugleich und ganz gleichmäßig fortgesetzt werden, indem davon eine gleichförmige Senkung vorzüglich mit abhängig ist. Haben die Mittelpfeiler eine solche Stärke, daß sie als Widerlager zu betrachten sind, so ist es nicht nöthig, daß bei allen Bögen zugleich angefangen werde, es muß aber die Arbeit immer gleichmäßig fortgesetzt werden.

Bei hängenden Lehrgerüsten hat man auch mehrfach eine andere Operation angewendet, um die Ausrüstung zu bewerkstelligen. Bei der Ausrüstung der Brücke zu Nemours hat man nämlich, da der Druck der Wölbsteine auf die Keile wegen der gedrückten Form der Bogen so groß wurde, daß es unmöglich war, sie ohne Gefahr herauszunehmen, die untern Enden der letzten Spannstreben spitz einhauen lassen. Dadurch wichen diese Enden nach und nach der Last des Gewölbes und der eignen Last des Lehrgerüstes, und das Setzen derselben wurde somit langsam und mit dem der Lehrbogen zugleich bewirkt, so daß am Ende die Lehrbogen allein und unabhängig standen und sie ohne Furcht vollständig weggenommen werden konnten. Die Senkung ging dabei sehr gut von statten, nur die untern Spannstreben gingen verloren, welcher Verlust aber im Vergleich zu dem guten Erfolge kein großes Opfer war.

Bei gestützten Lehrbögen kann man von vorn herein für die Ausrüstung folgende Einrichtung treffen. Man läßt nämlich jeden Ständer, wodurch der

eigentliche Lehrbogen (Kranzholz) unterstützt wird, mit einem Zapfen in einem Zapfenloch ruhen, legt aber an die Ränder neben den Zapfen Keile, auf welchen der Ständer aufsitzt. Ist nun der Schluß des Gewölbes erfolgt, so darf man bei der Ausrüstung nur diese Keile wegschlagen, um eine Hauptsenkung wenn auch nur von einigen Zollen hervorzubringen, wodurch dann das spätere Herausschlagen der Keile und das Wegnehmen der Lagerbalken schon bedeutend erleichtert wird.

Die Ausrüstung der Bögen der Brücke bei Besigheim, so wie auch die Ausrüstung der Bögen der Waterloobrücke und der neuen Londonbrücke sind schon oben an den bezüglichen Stellen bei Beschreibung der Lehrgerüste näher angedeutet, worauf wir daher in dieser Beziehung verweisen.

Bei diesen zuletzt erwähnten Lehrgerüsten ist noch der Vortheil, daß die Anordnung erlaubt, das Gerüst im Ganzen zu senken und ferner auch irgend einen Theil des Lehrbogens von der Wölbung zu entfernen, anstatt wie bei der andern Ausrüstung die ganze Wölbung auf einmal freizustellen.

§. 32. Die Ausmauerung der Gewölbeschenkel.

Nachdem das Gewölbe ausgerüstet ist und sich vollkommen zusammengesetzt hat, wird die Ausmauerung der Gewölbeschenkel vollendet und die Herstellung der Stirnmauern beschafft.

Die Bestimmung der Ausmauerung oder Hintermauerung eines Brückenbogens ist eine doppelte, und zwar dient sie einmal dazu, die eigentliche Brückenbahn, die sich mehr oder weniger einer Horizontalebene nähert, gegen den Bogen zu stützen; ferner aber auch, um den Bogen selbst gehörig zu stützen und bei darüber gehenden Lasten eine Störung des Gleichgewichts zu verhindern.

Ist das Gewölbe von nicht zu großer Breite, so genügen meistens schon die aufzuführenden Stirnmauern, zumal wenn sie angemessen dick gehalten und aus lagerhaften Steinen hergestellt werden, die sich gut verspannen und in horizontaler Richtung dicht an einander schließen, den Bogen zu hinterstützen. Bei tiefen und zugleich schwachen Wölbbögen jedoch geben die Stirnmauern allein nicht die nöthige Hinterstützung, weil dann die Bogenstrecke innerhalb der Stirnmauern nicht steif genug ist und es muß daher für diesen Theil ebenfalls eine Hinterstützung beschafft werden. Diese letztere kann nun auf mehrfache Weise geschehen.

Die einfachste und billigste Hinterstützung eines Bogens erhält man durch Ausfüllung der Gewölbewinkel mit Erdreich oder Steinbrocken. Mit dem einen oder dem andern Material, oder auch mit beiden zugleich wird der Raum zwischen den beiden Stirnmauern bis zur Höhe der Brückenbahn ausgefüllt und wird diese Hinterfüllung gehörig festgestampft. Je fester diese Ausfüllung nun eingestampft wird, desto größer wird der Schub gegen die Rückenfläche des Bogens; gleichzeitig wird aber auch der Schub gegen die Stirnmauern größer. Dieser Schub oder Seitendruck der Einfüllung hat zu-

nächst das Bestreben, die Stirnmauern hinauszudrängen oder doch das Gewölbe nach seiner Längenrichtung zu trennen. Das Letztere findet nun wohl im Ganzen sehr selten statt, indem, wenn man auch von der Bindung des Mörtels ganz absieht, die Reibung in den Lagerflächen der Wölbsteine schon groß genug ist, um eine solche Trennung des Bogens zu verhindern. Dagegen kann ein Ausbiegen der Stirnmauern schon weit leichter stattfinden und dieses um so eher, wenn sie nicht eine hinreichende Stärke haben, dem Erddruck vollständig und unter allen Umständen widerstehen zu können. Man darf daher bei Bestimmung der Stärke dieser Mauern nicht blos den einfachen Erddruck berücksichtigen, sondern man muß auch gleichzeitig darauf Rücksicht nehmen, daß über diese Ausfüllung sich schwere Lasten bewegen.

Statt der eben erwähnten Hinterfüllung mit Erdreich oder Bauschutt, wendet man auch sehr zweckmäßig eine Füllung mit Béton an; oder man füllt auch den Raum zwischen den beiden Stirnmauern schichtenweise mit Steinabfall oder Steinbrocken an und übergießt die nach und nach auf einander gebrachten Lagen mit einem natürlichen oder künstlichen Cement, und schlägt ehe derselbe anfängt zu binden und während der Zeit, daß er bindet, die einzelne Schicht mittelst einer kleinen Handramme zusammen. Eine solche Hinterfüllung bietet den großen Vortheil dar, daß sie bei völliger Hinterstützung des Bogens durchaus keinen Schub gegen die Stirnmauern ausübt.

Vielfach gebräuchlich ist die massive Hintermauerung der Bögen, welche darin besteht, daß man den hinter den Bögen oder zwischen den Wölbschenkeln befindlichen Raum mit Mauerwerk, theils aus regelmäßigen und theils unregelmäßigen Steinen bestehend, ausfüllt und zwar so, daß die Stirnseiten die Außenflächen dieser Hintermauerung bilden. Sind die Bögen sehr flach, wie z. B. bei den in Figur 506 und 537 dargestellten Brücken, so ist eine solche Hintermauerung sehr zweckmäßig, indem sie die horizontale Hinterstützung, die der Bogen bedarf, schafft. Eben so ist sie auch in solchen Fällen sehr zweckmäßig, wo die Bögen nicht alle gleiche Weite haben, also auch einen verschiedenen Druck ausüben, wie dieses namentlich u. a. bei dem Bau der in Figur 513 dargestellten Brücke bei Besigheim berücksichtigt wurde. Uebrigens ist es nicht zu verkennen, daß durch eine solche massive Hintermauerung dem einzelnen Pfeiler eine sehr bedeutende Belastung aufgelegt wird, wodurch nicht selten eine Senkung des Pfeilers hervorgebracht wird, wie es sich namentlich beim Bau der Brücke zu Orleans zeigte, wo man eine Entlastung des Pfeilers anordnen mußte. Ferner wird aber auch dem Gewölbe selbst dadurch eine große Last aufgebürdet, welche unter Umständen, namentlich wenn die zu demselben verwendeten Steine von minder rückwirkender Festigkeit sind, sehr gefährlich für das Gewölbe werden kann. Desgleichen würde auch eine volle Hintermauerung für ein aus Zielsteinen hergestelltes Gewölbe nicht empfehlenswerth sein, indem hierbei der Mörtel anfänglich nicht diejenige Festigkeit hat, um der starken Belastung einen genügenden Widerstand entgegen setzen zu können.

Bei der in Figur 537 dargestellten Brücke wurden die Gewölbwinkel mit 8 Schichten Ziegeln in der Art ausgemauert, daß die Ziegel mit der Gewölblinie parallel liefen und bei den Stirnpfeilern nach dieser Richtung sich bis

zum Rost derselben fortsetzten. Der übrige Raum wurde mit Mauerwerk aus Bruchsteinen angefüllt.

Man führt auch die Hintermauerung nur bis zu der Höhe massiv auf, wo die Brechungsfugen des Gewölbes stattfinden, weil der obere Theil des Bogens keiner weitern Hinterstützung bedarf, wohl aber diese für den untern Theil desselben besonders erforderlich ist. Die Stirnmauern werden dann bis zur erforderlichen Höhe weiter aufgeführt und der sich zwischen denselben ergebende Raum wird mit Erde, Kies oder dergleichen Material ausgefüllt.

Die zu diesen Anfüllungen erforderliche Erde muß frei von allen Körpern sein, die der Zersetzung unterliegen, als z. B. Pflanzenreste, Wurzeln, Holz und dergleichen; weil die Fäulniß dieser Körper ein späteres Schwinden bedingen würde.

Ferner ist noch zu erwähnen, daß, ehe die Hintermauerung oder Hinterfüllung der Gewölbe ausgeführt wird, vor Allem erst das Gewölbe selbst durch einen wasserdichten Estrich geschützt werden muß, damit das etwa durch das Steinpflaster dringende Regenwasser nicht auf das Gewölbegemäuer komme, indem dadurch der in den Fugen befindliche Mörtel erweicht werden oder auch den Gewölbesteinen selbst nachtheiliger Einfluß geschehen kann. Namentlich kann das Eindringen von Feuchtigkeit in das Gemäuer im Winter sehr nachtheilig werden, indem dann das Wasser gefriert und zu Eis sich bildend, sich mit großer Gewalt ausdehnt. Es ist daher durchaus erforderlich, man mag das Gewölbegemäuer hinterstützen in welcher Art man will, daß man das Gewölbe selbst gegen das Eindringen von Wasser schützt. Man bedient sich hierzu vortheilhaft eines scharfen Traßmörtels, der mit grobem Kies oder klein geschlagenen Steinen vermischt ist und bringt mehrere Lagen von wenigstens einem Zoll Dicke auf. Jede Lage wird, sobald sie anfängt zu binden, um Risse und Sprünge in derselben zu verhindern, mit hölzernen Schlägeln geschlagen und zwar so lange bis sie trocken ist. Wird dann die Hinterfüllung mit Erde beschafft, so ist es sehr zweckmäßig, daß man diesen Estrich noch mit einer Asphaltschicht bedeckt und die erste Lage der Hinterfüllung aus einer festgeschlagenen Schicht fetten Thons bestehen läßt. Findet dagegen eine Hintermauerung statt, so wird solche erst auf dem Estrich aufgeführt, darauf das ganze Mauerwerk ausgeführt, dieses nochmals mit einer Estrichschicht bedeckt und darüber eine Asphaltlage angeordnet.

Es wurde oben angeführt, daß unter Umständen schon die Stirnmauern bei hinreichender Breite allein vermöchten, die zugehörigen Bogenhälften genügend zu hinterstützen. Von dieser Ansicht ausgehend, hat man nun in neuern Zeiten bei breitern Brücken, wo die Stirnmauern allein nicht eine genügende Hinterstützung geben, diese dadurch hergestellt, daß man innerhalb der Stirnmauern und parallel mit denselben, mehrere Mauern aufführt, die sich gleichfalls gegen die Bogenhälften anlehnen und dadurch die nöthige Bogenhinterstützung hervorbringen. Diese zwischen den Stirnmauern hergestellten Hinterstützungsmauern haben den Namen Spandrill-Walls und unterscheiden sich von den erstern nur durch eine geringere Höhe.

Man kann die Räume zwischen den Spandrill-Walls und den Stirnmauern mit Erdreich oder sonstigem Füllmaterial ausfüllen, oder kann diese Räume auch mit starken Platten oder mit Gewölben überdecken.

Im ersten Falle dienen sie nur allein zur Hinterstützung der Bögen, ohne daß sie aber eine Entlastung der Pfeiler und Bögen bezwecken. Im zweiten Falle dagegen dienen sie nicht allein zur Hinterstützung der Bögen, sondern auch zur Entlastung der Pfeiler, und gleichzeitig haben sie auch den Zweck der Unterstützung der Brückenbahn, indem man die überdeckten Spandrill-Walls $1^1/_2$ bis 2 Fuß hoch mit Boden überfüllt und darauf das Steinpflaster legt. Diese letztere Anordnung ist jedenfalls sehr vortheilhaft, indem sie gleichzeitig mehrere Zwecke erfüllt; einmal trägt sie bei völliger Hinterstützung der Bögen zur Entlastung derselben und der Pfeiler bei, ferner aber wird, je höher sich die Spandrill-Walls über die zugehörigen Bögen erheben und die Brückenbahn durch die darauf gelegten Platten oder Bögen getragen wird, die Last, welche die Brücke überschreitet, auf einen um so größern Theil des Bogens vertheilt, und mithin wird die Brücke durch diese Anordnung um so tragfähiger für überschreitende Lasten. Dieser letztere Umstand schon allein empfiehlt die Anordnung der Spandrill-Walls sehr, wenn sie auch nicht zu Kostenersparniß führen und ferner auch die dadurch bewirkten Bogen- und Pfeilerentlastungen ohne Werth sein sollten.

Man findet die Spandrill-Walls vielfach bei Brücken verwendet und sowohl mit starken Platten, als auch mit Gewölben überdeckt. Mehrere hierher gehörige Beispiele sind in den Figuren 528, 531, 546 A, 552 B und 556 dargestellt.

In Figur 528 B, welche einen Querdurchschnitt der Brücke über den Cart der Glasgow-Greenock-Paisley-Eisenbahn (Fig. 526) darstellt, sind die Zwischenräume der Spandrill-Walls mit Rundbogengewölben überdeckt, die aber, wie aus Figur 528 ersichtlich, sich nicht bis zum Scheitel des Gewölbes erstrecken.

Die Figuren 531, 531 A — C geben verschiedene Querdurchschnitte der in Figur 529 dargestellten Grosvenor-Brücke zu Chester über den Fluß Dee. Hier sind die Spandrill-Walls unmittelbar zur Herstellung der Brückenbahn gebraucht, indem sich dieselben hier über das ganze Brückengewölbe wegziehen.

Bei der in den Figuren 544 — 546 dargestellten Maidenhead-Brücke sind die Spandrill-Walls mit Platten überdeckt. Dasselbe findet auch statt bei dem Brent-Viaduct der London-Birmingham-Eisenbahn, wovon ein Theil des Längendurchschnitts und verschiedene Querschnitte in den Figuren 595 bis 600 dargestellt sind.

Man könnte noch viele dergleichen hierher gehörige Beispiele anführen, allein die hier gegebenen genügen vollständig, um diese Anlagen kennen zu lernen und deren große Zweckmäßigkeit zu erkennen.

Eine ältere Methode die Gewölbe zu hinterstützen, ist die Hinterstützung durch Gegenbogen. Man findet sie bei ältern Brücken mehrfach, bei neuern Brücken ist jedoch diese Form der Hinterstützung seltener angewendet. Diese Form der Hinterstützung, wie sie auch bei der in den Figuren 601 bis 603 dargestellten Brücke des Lancaster-Canals über den Fluß Lune angegeben

ist, besteht darin, daß die Rückenflächen zweier an einander grenzender Bögen durch Gegenbögen oder sogenannte Contrebögen verbunden sind. Wenngleich nun nicht in Abrede gestellt werden kann, daß die Gegenbögen die Fähigkeit haben, als Hinterstützung dienen zu können, so sind sie doch immer nicht zu empfehlen, jedenfalls aber ist die Hinterstützung durch Spandrill-Walls leichter und besser in der Ausführung als die der Gegenbögen. Ferner kommt noch hinzu, daß, wenn die Brückenbahn mit Aussparungen gestützt werden soll, man jedenfalls dabei der Spandrill-Walls bedarf, wie auch bei der Lancaster-Brücke geschehen (s. Fig. 602 B und 603).

Eine der ältesten Methoden, die Pfeiler von Brücken zu entlasten, besteht in der Anordnung kreisrunder oder ovaler Oeffnungen, der sogenannten Brückenaugen. Diese Brückenaugen haben mehrerlei Zweck. Man hat sie entweder zur Entlastung der Pfeiler angewendet, wie namentlich Perronet bei der Brücke zu Orleans und La Belye bei der Westminster-Brücke; ferner sind sie auch vielfach dazu angewendet worden, um das Flußprofil zu vergrößern, damit bei hohem Wasser, dasselbe um so schneller abfließen könne (s. oben), alsdann und hauptsächlich wurden sie in neuern Zeiten dazu verwendet, um das durch die Brückenbahn hindurchsickernde Wasser abzuführen, womit sie aber dann auch gleichzeitig den Zweck verbinden, die Brückenpfeiler zu entlasten.

Bei der Nydeckbrücke zu Bern sind sie ebenfalls angewendet (s. Fig. 488), aber gleichzeitig hat man auch die Spandrill-Walls dabei angeordnet.

Auch die Brückenaugen stehen in Hinsicht auf die Bestimmung der Hintermauerung eines Bogens den Spandrill-Walls bedeutend nach, denn erstlich bezwecken sie nicht eine so gleichmäßige Hinterstützung und ferner beschaffen sie auch nicht die Entlastung, die man durch Anordnung der Spandrill-Walls erhält, indem bei diesen letztern die Entlastung sich nicht allein über den Pfeiler, sondern auch gleichzeitig über den Bogen erstreckt, wo dagegen bei den Brückenaugen die Entlastung sich einzig nur auf die Pfeiler reducirt.

Wir haben nun die verschiedenen Arten der Hintermauerungen und Hinterstützungen der Bogen, so weit es erforderlich war, angeführt und es bleibt jetzt noch übrig, die Anordnung der Stirnmauern oder die Verbindung derselben mit der Gewölbstirnfläche selbst näher zu besprechen. Die Stirnmauern bilden die äußere Bekleidung der Hintermauerungen und werden daher gleichzeitig mit diesen aufgeführt.

Die älteste Methode, die Stirnmauern mit den Gewölbeflächen zu vereinigen, bestand darin, daß man die obere Gewölblinie, also die äußere Gewölbfläche vollständig abglich, entweder concentrisch mit der innern Gewölblinie oder nach einer andern Bogenlinie und auf die so entstandene gekrümmte Fläche die einzelnen Steine der Stirnmauer legte, welche aber natürlich an ihrer untern Fläche nach der obern Gewölblinie ausgearbeitet werden mußten. Hierdurch erhielten nun die unmittelbar gegen das Gewölbe stoßenden Steine, je nach der Form der Bogenlinie mehr oder weniger spitze Winkel, welche Anordnung aber den großen Nachtheil hatte, daß bei einer noch erfolgenden Senkung diese zugespitzten Ecken der Steine der Stirnmauer nothwendig abbrechen mußten, indem die Ecken nicht die gehörige Stärke behielten, der von oben

darauf drückenden Last des übrigen Mauerwerks Widerstand zu leisten. Außerdem gewährt eine solche Anordnung auch noch ein sehr schlechtes Aussehen. Man findet dieselbe dennoch mehrfach bei neuern Brücken angewendet, als z. B. bei den in den Figuren 474 und 498 dargestellten.

Diese Art der Vereinigung der Stirnmauern mit der äußern Gewölbefläche ist, wie schon erwähnt, nicht zweckmäßig und empfehlenswerth; dagegen ist es weit zweckmäßiger, das Gewölbe an seiner Oberfläche nicht abzugleichen, sondern die einzelnen Gewölbsteine aus der Oberfläche hervortreten und die einzelnen Schichten der Stirnmauern mit diesen hervortretenden Steinen einen Mauerverband bilden zu lassen. Diese Anordnung finden wir bei vielen Brücken angewendet und sollen hier mehrere Beispiele der Art noch angeführt werden, woraus die Anordnung genügend ersichtlich wird.

An der Brücke von Neuilly (Figur 571) sind die Gewölbfugen beinahe alle gleich lang. Dieselben sind in den Schenkeln erst zu 1, dann zu 3 und 4 wagerecht und senkrecht abgeschnitten, um sie mit der Stirnmauer zu vereinigen. Im obern Theile des Gewölbes sind die Fugen derselben alle bis unter das Mauerband fortgesetzt und hier sämmtlich wagerecht abgeglichen. Bei dieser Anordnung wird nicht allein ein sehr guter Verband erhalten, sondern es bleibt auch den einzelnen Steinen der Stirnmauer eine hinreichende Stärke, um bei einer später noch weiter erfolgenden Senkung der Last von oben hinreichend widerstehen zu können.

Bei der in Figur 521 dargestellten Brücke über die Dora ist die Anordnung der Fugen ganz ähnlich, wie überhaupt bei der Erbauung dieser Brücke die vorgenannte als Muster gedient zu haben scheint, nur mit dem Unterschiede, daß diese Brücke einen bedeutend weiter spannenden Bogen hat.

Bei den in den Figuren 506, 537 und 565 dargestellten Brücken, deren Gewölbe nach flachen Kreisbogenstücken geformt sind, und wo die einzelnen Schichten der Stirnmauern nach der ältern Methode hätten sehr bedeutend abgeflacht werden müssen, sind die einzelnen Wölbsteine an ihrer obern Fläche zu 2, 3 und 4 wagerecht und senkrecht abgeschnitten, dagegen sind im Scheitel die Fugen des Gewölbes bis unter das Mauerband fortgeführt und diese bis dahin reichenden Steine dann oben nach einer wagerechten Ebene abgeglichen.

Stellenweise findet man auch, daß die Gewölbefugen alle bis an das Mauerband und bis an die Pfeiler fortgesetzt sind, wie dies namentlich auch bei den beiden kleinern Bögen der in Figur 513 dargestellten Brücke zu Besigheim der Fall ist. Diese Anordnung ist jedenfalls sehr vorzüglich und namentlich bei flachen Bögen, indem sie dadurch jedenfalls ungemein an Haltbarkeit gewinnen. Kann man nun auch die hierzu erforderlichen langen Steine nicht erhalten, so schadet das weiter gar nicht, denn man kann sie der Höhe nach aus mehrern Steinen zusammensetzen, nur muß dann, wie dies auch schon früher erwähnt wurde, die Bearbeitung sehr genau sein und darf man nicht darauf rechnen wollen, daß die Unebenheiten und das Fehlende der Fugen durch Mörtel auszufüllen sind.

Bei Ziegelsteingewölben kann mit Leichtigkeit die oben erwähnte Anordnung ebenfalls zur Ausführung gebracht werden, nur muß man das senkrechte

und wagerechte Abschneiden nicht bei jeder einzelnen Schicht ausführen wollen, sondern es sind immer mehrere Fugen zugleich auf diese Weise senkrecht und wagerecht abzuschneiden. Uebrigens läßt sich bei Ziegelsteingewölben auch die ältere Methode in Anwendung bringen, was auch meistentheils geschieht.

Das Abgleichen des obern Lagers eines jeden Gewölbsteins für diese Verbindungen kann und darf erst dann erfolgen, wenn das Gewölbe ausgerüstet ist und sich gesetzt hat. Wollte man die vollständige Setzung des Gewölbes abwarten, so würde dadurch der Bau gar zu lange aufgehalten werden, weshalb man diese Arbeit vornimmt, sobald man sich vergewissert hat, daß eine bedeutende Senkung nicht mehr erfolgen werde. Tritt dann auch wirklich noch eine geringe Senkung ein, wie dies gewöhnlich der Fall ist, wenn die Hintermauerung hergestellt wird, so ist diese, so lange das Mauerband noch nicht verlegt ist, bei der zuletzt beschriebenen Anordnung ohne Nachtheil, indem diese dem Gewölbe ein solches Setzen gestattet, ohne daß dadurch die Steine der Stirnmauer zum Brechen kommen. Von weit größerem Nachtheil ist aber ein solches nachträgliches Setzen des Gewölbes bei der zuerst erwähnten Art der Verbindung der Stirnmauer mit dem Gewölbe, indem dabei wegen der spitzen Winkel die Steine nothwendig brechen müssen.

§. 33. Die Vollendung der Brücke.

Sind die Hintermauerungen, so wie gleichzeitig auch die Stirnmauern bis zur gehörigen Höhe aufgeführt und abgeglichen, so wird auf diese letztern das Mauerband (Kranzgesimse) gelegt. Dasselbe hat zunächst den Zweck, die Stirnmauer gegen den eindringenden Regen zu schützen und kann man daher demselben eine mehr oder weniger große Ausladung geben, je nachdem die Stirnmauer eine größere oder geringere Höhe hat. Ferner aber dient dieses Mauerband der Brücke auch als architektonischer Schmuck, indem es den Hauptabschluß derselben nach horizontaler Richtung, also ihre Bekrönung bildet. Wenngleich nun im Allgemeinen eine größere Einfachheit bei Verzierung der Brücken sehr empfehlenswerth ist, so sollte man dennoch in dieser Beziehung die Grenzen nicht gar zu eng ziehen. Läßt man dieses Band nur in einer einfachen Platte mit einer kleinen Unterplatte bestehen, so ist dieses bei ganz kleinen Brücken hinreichend, bei größern Brücken dagegen, wo dies Band schon eine größere Höhe erhalten muß, würde eine solche einfache Platte ein sehr ärmliches, schlechtes und plumpes Aussehen gewähren, weshalb man dann dasselbe mit mehrern architektonischen Gliedern zu versehen hat, was auch um so eher hier geschehen kann, da sie den Stößen gegentreibender Körper nicht mehr oder doch nur in sehr seltenen Fällen ausgesetzt sind, zumal da sie in den meisten und gewöhnlichsten Fällen immer noch über dem höchstmöglichen Wasserstande liegen. Bei größern und höhern Brücken ordnet man, um gleichzeitig eine größere Ausladung zu erhalten, Sparrenköpfe oder Tragsteine unter dem Kranzgesimse (Mauerbande) an, wodurch manchmal noch

ein etwas breiterer Brückenweg erhalten werden kann. Die einzelnen Glieder des Kranzgesimses müssen kräftig und scharf ausgedrückt sein und eine größere Zusammenstellung von vielen kleinen und zierlichen Gliedern muß ganz vermieden werden, indem diese einmal nicht gehörig sichtbar werden wegen der Entfernung, aus welcher man die Brücke sieht und ferner auch dem Ganzen einen zu ängstlichen und kleinlichen Charakter geben. Es muß daher das Kranzgesimse nur aus wenigen aber kräftig ausgedrückten und hervortretenden Gliedern bestehen. Die Höhe des Kranzgesimses mit Einschluß der Tragsteine oder Sparrenköpfe soll im Allgemeinen seinem Vorsprunge gleich sein. Von dieser Regel kann man aber in solchen Fällen füglich abweichen, wo die Stirnmauern über den Bogen noch wesentlich hervorragen. Im Allgemeinen aber muß der architektonische Charakter einer Brücke mit den Umgebungen ihrer Lage im Einklange stehen. Derselbe muß daher einfach und ernst auf Landstraßen sein, dagegen kühn, reich und mannigfaltig in großen volkreichen Städten.

Die einzelnen Steine, aus welchen das Mauerband zusammengesetzt wird, müssen möglichst lang sein und namentlich keine Fehler haben, als Lagerstiche oder Thongallen und dergleichen. Sie werden der Länge nach mit einander durch mit Blei eingegossene eiserne Klammern verklammert, oder was noch besser ist, durch eingesetzte schwalbenschwanzförmige Spunde verbunden. In dieser Verbindung tragen sie nicht unwesentlich zur Verminderung des Bogenschubs bei, indem dadurch die beiden Pfeiler oder Widerlager eines Bogens ebenfalls mit einander verbunden werden. Noch vollkommener erreicht man diesen Zweck, wenn man die beiderseitigen Stirnmauern auch noch durch Quermauern mit einander in Verbindung bringt, so daß ein förmliches Netz entsteht.

Uebrigens wollen wir bei dieser Gelegenheit noch die Bemerkung einfließen lassen, daß es um den Bogenschub zu vermindern jedenfalls sehr zweckmäßig ist, wenn man an der innern Seite der Stirnmauern, so wie überhaupt innerhalb derselben mehrere eiserne Anker anbringt, die nach der Länge der Brücke über den Scheitel des Gewölbes gehen und auf beiden Seiten in den Hintermauerungen des Bogens gehörig befestigt werden. Wenn solche Anker auch nicht für eine längere Dauer sind, indem sie durch Rost zerstört werden, so sind sie doch anfänglich, so lange der Mörtel noch nicht gehörig erhärtet ist, ganz vortrefflich dazu geeignet, den Bogenschub zu vermindern.

Die obere Fläche des Mauerbandes wird, so weit sie über die Außenfläche der Stirnmauer wegragt, nach außen abgeflacht, damit das Wasser nicht darauf stehen bleibt. Nachdem nun das Gesims oder Mauerwerk versetzt und gehörig unter sich verbunden ist, wird zur Herstellung des Trottoirs geschritten.

Diese Trottoirs werden, selbst wenn die Fahrbahn nach der Mitte hin steigt, häufig wagerecht gelegt und in diesem Falle dann an den Aufgängen der Brücke eine oder mehrere Stufen angeordnet. Diese Anordnung hat Manches für sich, im Allgemeinen sind aber, namentlich bei Schneefall oder Glatteis, diese Stufen an den Aufgängen nicht bequem und geben bei dunkeln Abenden auch sehr leicht Anlaß zum Ausgleiten der Fußgänger. Es möchte daher wohl eben so zweckmäßig sein, den Trottoirs dieselbe Lage wie der Fahrbahn zu geben. Der Hauptübelstand, der hierdurch zu Wege gebracht wird, besteht darin, daß

das Gesimse auch nach derselben Linie gelegt wird, wodurch der Brücke ein schöneres und leichteres Aussehen entzogen wird. Damit aber, wenn die Trottoirs wagerecht angeordnet werden, das Wasser nicht darauf stehen bleiben kann, so erhalten sie nach der innern Seite hin eine geringe Neigung. Ist die Fahrbahn völlig wagerecht, wie dies wohl bei den meisten der neuern Brücken der Fall ist, so versteht sich von selbst, daß auch die Trottoirs der Länge nach wagerecht zu liegen kommen und nur nach der innern Seite hin behufs des schnellen Abfließens des Wassers eine geringe Neigung erhalten. Die Trottoirs werden immer so angeordnet, daß sie mindestens sechs Zoll höher liegen als das Pflaster der mittlern Fahrbahn.

Wo man es haben kann, stellt man diese Trottoirs aus großen Steinplatten her; diese Platten werden dann auf ein gemauertes Unterlager gelegt und stoßen dicht an die Gesimssteine, welche jedoch an der dem jedesmaligen Trottoir zugekehrten Seite so tief ausgearbeitet werden, daß in diese Einschnitte die Trottoirplatten gelegt werden können. In Ermangelung von größern Steinplatten mauert man an der innern Seite der Trottoirs nach der Längenrichtung der Brücke Wangenmauern, auf welche starke Randsteine versetzt werden und deren Oberkante mit der der Trottoirs zusammenfällt. Der Zwischenraum zwischen dem jedesmaligen Randsteine und dem Mauerbande wird mit Mauerwerk oder mit Sand ausgefüllt. Auf diese Auffüllung verlegt man dann die kleinern Platten, welche gegen die Randsteine stoßen. Statt dieser kleinern Platten kann man auch sehr zweckmäßig hochkantig gestellte Klinker verwenden, die in Cementmörtel vermauert werden. Hierzu ist aber erforderlich, daß vorab eine höhere Unterlage hergestellt werde, welche aus zwei Schichten Ziegelmauerwerk bestehen kann. Die Trottoirs mit viereckig behauenen Pflastersteinen zu pflastern, ist nicht zu empfehlen, weil bei dem sehr geringen Gefälle, welches man den Trottoirs nach der Seite hin geben kann und darf, das darauf fallende Regenwasser zu sehr in die Fugen eindringen würde. Sehr zweckmäßig ist es aber, wenn man in Ermangelung größerer Plattensteine, den mit Erde oder Sand ausgefüllten Zwischenraum mit einigen Schichten Ziegelmauerwerk bedeckt und darüber eine Lage Asphalt ausbreitet.

Sind die aufgesetzten Randsteine hinreichend groß und stark, so ist kein weiterer Schutz derselben gegen die vorbei und anfahrenden Wagen erforderlich; sind aber dieselben nur schwach, so sind eiserne Schienen, welche auf der vordern Seite in die Randsteine befestigt und mit Blei vergossen werden, namentlich an den Auffahrten zur Brücke sehr nützlich. An den Enden der Brücke, also ebenfalls an den Auffahrten sind außerdem jedesmal mehrere starke Radabweiser anzubringen zum Schutz der Fußgänger auf den Trottoirs und dieser letztern selbst. —

Was die Fahrbahn betrifft, so kann diese auf mehrfache Weise hergestellt werden. Das Gewöhnlichste ist, daß man die Brücke 10 bis 12 Zoll hoch mit Sand oder Erde bedeckt und hierauf ein gutes Pflaster von recht festen, viereckig zugerichteten Steinen reihenweise setzt. Dasselbe bekommt nach der Breite eine geringe Wölbung von 6 bis 8 Zoll, welche dazu dient, einen

schnellen Wasserabfluß herzustellen. An beiden Seiten der Fahrbahn längs der Trottoirs werden dann Straßenrinnen angebracht, in welchen das Wasser von der Fahrbahn zusammenläuft und weiter abfließt. Diese Straßenrinnen werden gewöhnlich auch aus Pflastersteinen hergestellt. Weit zweckmäßiger würde es aber sein, wenn man hierzu eigends zugerichtete steinerne Rinnen verwendete, die zusammengespundet und deren Fugen in ihren Zusammensetzungen gehörig verkittet werden könnten, so daß ein Durchdringen durch dieselben nicht wohl möglich sein könnte. In diese Straßenrinnen wird dann gleichzeitig auch der Abfluß von den Trottoirs geleitet. Diese Rinnen erhalten ihren Schutz dadurch, daß etwa alle 10 bis 12 Fuß eiserne Radabweiser angeordnet werden, die in die Randsteine und in die Untermauerung der Straßenrinnen befestigt werden. Hat die Brücke von beiden Enden her nach der Mitte zu Steigung, so ist die Abführung des Wassers keiner großen Schwierigkeit unterworfen, denn die Straßenrinnen erhalten dann dasselbe Gefälle wie die Fahrbahn und wo dies nicht genügend ist, kann es ohne Gefahr nach den Ende der Brücke hin für die Straßenrinnen immer um einige Zoll vermehrt werden. Schwieriger aber ist die Beseitigung des Wassers, wenn die Fahrbahn der Brücke eine horizontale Lage hat; und dennoch ist die Beseitigung des Wassers ein sehr wesentlicher Gegenstand zur Erhaltung der Brücke. Bei der Brücke von Neuilly ließ Perronet durch zwei Gewölbsteine auf gewissen Abständen unter den Straßenrinnen Löcher durchbohren, welche alsdann dazu dienten, das Wasser abzuleiten. Bei der Brücke von Saumur behielt Cessart diese Einrichtung zwar im Allgemeinen bei, verlegte aber die Straßenrinnen unter das Trottoir. Wenn nun durch diese Einrichtung auch die Breite der Fahrbahn größer erhalten wurde, so ist diese Anordnung dennoch wohl nicht so empfehlenswerth, indem man nicht bequem zu derselben kommen kann, im Fall die Abflußröhren verstopft sein oder auch die Gossen selbst einmal schadhaft werden sollten, und muß man dann, um die nöthigen Reparaturen beschaffen zu können, jedesmal das Trottoir aufbrechen, was aber namentlich im Winter sehr unangenehm ist. In die durch das Gewölbe gebohrten Löcher werden metallene Röhren eingesetzt, welche dann an der innern Wölbung mehrere Zoll vorstehen. Treffen diese Röhren im Scheitel des Gewölbes oder doch in dessen Nähe, so ist die Anbringung derselben keiner erheblichen Schwierigkeit unterworfen. Schwieriger aber ist es, wo sie auf einen Pfeiler oder auf die Hintermauerung treffen. Hier müssen dann in der Hintermauerung selbst wasserdichte Räume gemauert werden, in welchen das Wasser zusammenfließt und von wo es dann durch das Gewölbe oder durch eine niedrig gelegene Stelle des Pfeilers oder Widerlagers abgelassen werden kann. Sehr zweckmäßig lassen sich hierzu die Zwischenräume der Spandrill-Walls benutzen, was auch meistentheils geschieht.

Bei der Brücke über den Neckar bei Cannstatt wurde die Fahrbahn in folgender Art hergestellt.*)

*) Förster's Bauzeitung, 1840.

Die Fahrbahn der Brücke ruht unmittelbar auf dem, in gleicher Höhe mit den Schlußsteinen der Brückenbogen aufgeführten Belastungsgemäuer und besteht in einer Masse von Béton, welche im Scheitel der Fahrbahn eine Dicke von 1 Fuß 5 Zoll und an den Kanten von 1 Fuß erhielt. Um diese Bétonmasse zu bilden, wurde zuerst aus hydraulischem Kalk und Sand in gleichen Theilen, ein gewöhnlicher Mörtel bereitet, dieser sodann, so weit es nothwendig war verdünnt und mit Bruchstücken von Kalksteinen, welche zu diesem Ende bis auf 1 Kubikzoll verkleinert worden waren, durchgearbeitet. Das Mischungsverhältniß dieser Bétonmasse war für 100 Kubikfuß: 14 Roßlast (9800 Pfd.) zerschlagener Kalksteine, 12½ Kubikfuß Flußkies, 12½ Kubikfuß Flußsand und 22 Kubikfuß hydraulischer Kalk.

Der Auftrag des Bétons geschah in vier Schichten, deren letztere vor dem Erhärten noch mit einer zolldicken Schicht ganz klein geschlagener Kalksteine bedeckt und sofort, wie die vorhergehenden, festgestampft wurde.

Ganz ähnlich wurde auch die Fahrbahn der Brücke bei Besigheim hergestellt.

Um ein Durchsickern des Wassers durch die Fahrbahn und durch die Trottoirs unschädlich zu machen, hat man auch auf die Cementmörtelschicht, womit das Brückengewölbe zunächst bedeckt wurde, noch eine Lage fetten Thon gebracht, diesen festgestampft und darauf dann eine Sandschüttung gebracht, in welcher das Steinpflaster versetzt wurde. Hierdurch wird zwar für eine Zeit lang das durchsickernde Wasser von dem Brückengewölbe abgehalten, aber ein Erweichen des Thons wird jedenfalls stattfinden und somit die Feuchtigkeit mit der Zeit dennoch dem Mauerwerk der Brücke nachtheilig werden. Solche Nachtheile finden bei der Anwendung der Spandrill-Walls mit unausgefüllten Zwischenräumen nicht statt; denn bedeckt man die Sohle der Zwischenräume der Spandrill-Walls mit einem wasserdichten Estrich, wie dies auch schon immer geschieht und trägt nur dafür Sorge, daß das durchsickernde Wasser, im Falle solches sich einstellt, gehörig abfließen kann, so wird daraus kein weiterer Nachtheil für die Brücke entstehen.

Man hat endlich auch den Estrich mit einer Asphaltlage bedeckt und an den tiefer gelegenen Stellen kleine Abzugsrinnen aus trocken vermauerten Steinen hergestellt, in welchen das durchsickernde Wasser sich sammelt und von da abgeführt werden kann. Eine sehr gute wasserdichte Lage erhält man auch, wenn man die Estrichschicht, womit das Brückengewölbe und die Hintermauerung bedeckt wird, nachdem dieselbe vollkommen ausgetrocknet ist, mit dünnflüssigem Theere mehrere Male überzieht, zum letzten Ueberzuge dickflüssigen Theer, mit Pech versetzt, verwendet und darüber eine dünne Lage pulverisirten ungelöschten Steinkalk ausstreuet. Dadurch werden die kleinen im Estrich entstandenen Risse und Sprünge ganz und gar geschlossen und währt ein solcher Ueberzug, da später die Luft nicht darauf einwirken kann, sehr lange Zeit. Statt der Asphaltlage würde sich auch sehr zweckmäßig eine Lage sogenannter Terresin verwenden lassen.

Dieser Gegenstand ist in der That zu wichtig und auch keineswegs so leicht in der Ausführung zu beseitigen, als dies im ersten Augenblick erscheinen

möchte. Wir finden viele Bauwerke, bei denen die durch die längere Dauer der Einwirkung des durchsickernden Wassers entstehenden nachtheiligen Folgen zu deutlich sichtbar geworden sind, wobei dann noch der schlimme Umstand obwaltet, daß die einmal vorhandenen Nachtheile schwer wieder zu beseitigen sind. Der gewöhnliche Fall ist, daß wenn das durchsickernde Wasser bis auf die Oberfläche des Gewölbes dringt und dieses nicht vollständig gegen weiteres Eindringen geschützt ist, das Wasser durch die Gewölbefugen dringt, den Mörtel erweicht und die Steine mit Feuchtigkeit sättigt. Ist nun die Beschaffenheit der Steine der Art, daß die Feuchtigkeit eine bedeutende Veränderung in denselben hervorbringt und etwa das Bindemittel des Steines selbst zerstört, so zersetzen sich diese nach und nach; ist aber der Stein vollständig widerstandsfähig und nimmt er nur die Feuchtigkeit auf, ohne daß eine Zersetzung des Steines erfolgt, so tritt der Nachtheil ein, daß die durchnäßten Gewölbesteine, so wie der Mörtel zerfrieren. In beiden Fällen wird aber der Verband aufgehoben, und bei sich wiederholenden Einwirkungen der Nässe und des Frostes der Einsturz des Bauwerks herbeigeführt.

Es ist daher durchaus nothwendig, daß das Gewölbe mit einer vollständig wasserdichten Deckschicht belegt werde. Allein hat man eine solche Schicht auch hergestellt, so genügt diese dennoch nicht vollkommen; denn dringt das durchsickernde Wasser bis auf diese Schicht, so wird es sich auf derselben ausbreiten und darüber ansammeln. Da es aber dann mit einer gewissen Druckhöhe auf diese Schicht wirkt, so wird zwar kein Durchsickern stattfinden, sobald die Schicht vollständig wasserdicht ist, wohl aber ein Durchschwitzen, welches dann mit der Länge der Zeit ebenfalls nachtheilig werden wird.

Hiernach ist es also nicht allein erforderlich, daß die Gewölbe und überhaupt das ganze Brückenmauerwerk mit einer vollständig dichten Deckschicht belegt werde, sondern es muß auch nothwendig dafür Sorge getragen werden, daß das sich auf dieser Schicht ansammelnde Durchsickerwasser auf dem möglichst kürzesten Wege abgeführt werde.

Bei Anordnung der Spandrill-Walls ist dies nun sehr leicht zu erreichen, indem die hohlen Zwischenräume derselben hierzu die beste Gelegenheit geben. Schwieriger aber ist es schon bei solchen Gewölben, die unmittelbar mit der Füllerde bedeckt sind, indem hierbei die Abführung des durchsickernden Wassers nicht so schnell und auch nicht so vollständig beschafft werden kann, weil die Deckerde selbst zu sehr die Feuchtigkeit aufhält. Nichts desto weniger muß man doch in sofern Sorge tragen, daß man die Oberfläche der Gewölbe nach der Länge hin nicht horizontal abgleicht, sondern man stellt die Uebermauerung jedes Gewölbes in Sattelform her, so daß die niedrigsten Stellen über die Pfeiler oder Widerlager kommen. An diesen niedrigst gelegenen Stellen werden dann kleine Abzugscanäle hergestellt, in welchen das durchsickernde Wasser zusammenfließt und durch nach außen geführte Röhren abgeleitet wird. Um aber diese Canäle gegen Verstopfung durch das, über die Gewölbe zu bringende Schüttungsmaterial zu sichern, so werden dieselben mit Platten abgedeckt, aber mehrere Zoll hoch über der Ausgußfläche der Gewölbesättel, so daß das Wasser, welches von denselben abfließt, noch unterhalb der Platten in den

Abzugscanal eintreten kann. Das sich auf dem Gewölbesattel ansammelnde Wasser kann aber auch nur durch Filtration in den Canal hineindringen, indem das Einspülen des Füllmaterials in denselben verhindert werden muß. Es werden zu dem Ende auf dem Untertheil der Gewölbesättel Coulissensteine mit Zwischenräumen aufgestellt, welche die Deckplatten des Canals tragen. Vor diesen Oeffnungen und in den Zwischenräumen werden Feldsteine verpackt, und zwar erst größere, dann kleinere, bis zuletzt ganz kleine Steine und Kies folgen, welche das Wasser leicht durchlassen, aber verhindern, daß gröbere Stoffe mit durchfließen. Das in diesen Canälen sich sammelnde Wasser wird dann, wie schon erwähnt, durch besondere Röhren nach außen geführt. Hierzu wendet man am zweckmäßigsten gußeiserne Röhren an, und läßt man diese dann nicht durch besondere angebrachte Oeffnungen in den Stirnmauern ausmünden, weil solche Röhren hier einmal das Ansehen der Brücke verschlechtern würden, ferner aber der große Nachtheil entstehen würde, daß dann das hier auslaufende Wasser am Mauerwerk des Pfeilers herunter läuft, dasselbe mit Moos bedeckt und fortwährend feucht erhält, sondern man führt, wie namentlich bei den größern englischen Brücken vielfach geschehen ist, die Röhren innerhalb der Pfeiler vertical herunter und läßt sie am Fuße derselben mit einer scharfen Biegung ausmünden.

Eine andere Anordnung, um das Filtrationswasser abzuführen, besteht darin, daß man dasselbe in einem Punkte und zwar über der Mitte des Hauptgewölbescheitels sammelt, wo dann die Abdeckung des Gewölbes nach der Mitte der Längenachse zu ein Gefälle erhält, welches dadurch erzeugt wird, daß die Ausmauerung und Abdeckung des Gewölbes in der Mitte etwas niedriger gehalten wird, als zunächst den Stirnmauern. Allein diese Anordnung hat den Nachtheil, daß man die ohnehin niedrigst gelegenen Punkte, nämlich über den Pfeilern erhöhen muß, was nur durch Mauerwerk geschehen kann, also jedenfalls eine Vergrößerung der Baukosten herbeiführt.

Ueber das Mauerband kommt als Fortsetzung die Brustwehr oder Brüstung. Dieselbe muß eine solche Höhe erhalten, daß sie den Fußgängern und den Fuhrwerken den gehörigen Schutz gewährt, ohne aber dadurch die Aussicht zu beschränken; die Höhe der Brüstung beträgt daher zwischen 3 bis 5 Fuß.

Die Brüstungen können bei einfachen untergeordneten Brücken aus einer einfachen Mauer aus Bruchsteinen oder Ziegelsteinen bestehen und werden dieselben dann zum Schutz gegen das Eindringen von Wasser mit Sattel- oder Decksteinen bedeckt, die nach einer Seite oder auch nach beiden Seiten hin abwässern. Oder man läßt sie auch von Wandpfeilern aus Quadersteinen bestehen, wo dann die entstehenden Zwischenräume von rauher Mauer hergestellt werden. Bei größern Brücken macht man sie nur von Quadersteinen oder von durchbrochenem und in Felder eingetheilten Ziegelmauerwerk. Macht man die Brüstungen von Quadersteinen, so läßt man sie auch aus Wandpfeilern bestehen; die sich dadurch ergebenden Zwischenpfeiler werden mit Füllungen versehen oder auch von Geländerdocken unterbrochen. Die Brüstungen werden 18 bis 24 Zoll dick und, wie schon erwähnt, mit Sattel- oder Decksteinen belegt. Sind diese Decksteine sehr dick, so ist eine weitere Befestigung derselben, als die Verbin-

dung nach der Länge durch eingesetzte schwalbenschwanzförmige Spunde, nicht nothwendig. Bei dünnen Decksteinen dagegen ist es sehr zweckmäßig, wenn in der Brüstungsmauer lothrecht ein Eisen eingemauert wird, welches an seinem obern Ende gekrümmt ist und in das Kopfende der Decksteine eingreift. Auf solche Weise werden die Decksteine mit der Mauer fest verbunden, ohne daß die Verbindung sichtbar ist. Um aber ein Verschieben der Decksteine zu verhindern, welches möglicher Weise dennoch stattfinden könnte, indem die erwähnte Eisenbefestignng nicht bei jedem einzelnen Decksteine angewendet werden kann, so werden auch hier in den Stoßfugen die bereits erwähnten Spunde eingesetzt. Die äußere Fläche dieser Brüstungen soll nicht über die Stirnfläche der Brücke vorspringen, geschieht dies dennoch, so muß erstlich das Mauerband eine erhebliche Mehrbreite erhalten, damit dasselbe so weit aufliegt, um dem durch die aufgesetzte Brüstung vermehrten Uebergewicht vollkommen das Gleichgewicht zu halten; ferner aber ist noch eine besondere Befestigung durch starke eiserne Klammern an das unterliegende Mauerwerk erforderlich.

Statt der eben erwähnten steinerneu Brüstungen kann man auch Gitter von Eisenstäben oder gußeiserne Geländer anbringen, die sich nich allein besonders leicht und zierlich ausnehmen, sondern auch eine angenehme Durchsicht gewähren und endlich auch die Brücke nicht so beschweren, als die steinernen Brüstungen. Auf diese Brüstungen werden, wenn sich die Brücke an einem bewohnten Orte befindet, Candelaber mit Laternen gesetzt, um bei Abend und Nacht die gehörige Beleuchtung herzustellen.

Dient eine Brücke als Wasserleitungs- oder Canalbrücke, so ist die Anordnung des Oberbaues der Brücke anderer Art. Es wird dann je nach der Tiefe, welche das Canalbett erhalten soll, die Stirnmauer höher aufgeführt. Die Hintermauerung der Gewölbe wird in derselben Weise hergestellt, wie schon oben näher angegeben und zwar entweder voll oder mit hohlen Räumen (Spandrill-Walls). Die darüber zu legende Schicht von Mauerwerk, welche die Sohle des Canals bildet, muß aus Klinkern oder hartgebrannten Steinen bestehen, die mit einem scharfen hydraulischen Mörtel vermauert werden. Die Stärke dieser Schicht richtet sich nach der Höhe des Wasserstandes über derselben. Bei dem in Figur 572 — 575 dargestellten Aquaduct des Leina-Canals beträgt die Stärke dieser Schicht an der schwächsten Stelle 15 Zoll. Die Wandungen des Canals wurden von demselben Material ausgeführt. Damit aber dieses Mauerwerk nicht ausgedrängt werde, so ist der Zwischenraum zwischen den Canalwandungen und dem eigentlichen Mauerwerk der Brücke vorher mit Bruchsteinmauerwerk, ebenfalls in hydraulischem Mörtel vermauert, ausgefüllt. Die Stirnmauern werden bis zur Oberkante des gemauerten Canals aufgeführt und alsdann an beiden Seiten des Canals Fußwege angelegt. Der Canal darf nicht eher hergestellt werden, als bis man sich vollständig davon überzeugt hat, daß die Gewölbe und Pfeiler sich gehörig gesetzt haben und ein weiteres Setzen nicht mehr zu befürchten ist. Unterläßt man dieses, so läuft man Gefahr, daß der Canal undicht werde, indem mit dem Setzen der Bögen auch gleichzeitig ein Setzen des Canalmauerwerks verbunden ist. Erhebliche Schwierigkeiten macht die Verbindung des Erdbettes des Canals mit dem Mauerwerke,

indem diese Verbindung wieder nur durch Erde hergestellt werden kann, die Erde mit dem Mauerwerk sich aber nicht so vereinigt, daß ein Durchsickern des Wassers ganz verhindert werden kann. Bei dem Aquaduct des Leina-Canals wurde diese Verbindung durch eine 3 Fuß starke Thonlage, welche horizontal und vertical hakenförmig in und um das Mauerwerk greift, bewirkt, wie in den Figuren 572 und 573 näher angedeutet ist. In den Figuren 601 bis 603 ist die Brücke des Lancaster-Canals über den Fluß Lune dargestellt. Man hat auch zur Dichtung des Canalbettes mehrfach noch außerdem eine Asphaltschicht angewendet und zu dem Zweck, um eine möglichst innige Verbindung zu erlangen, die Plattschicht, auf welche der Asphaltguß gebracht wurde, nachdem dieselbe vollständig ausgetrocknet war, noch durch aufgesetzte flache Schalen, in welchen sich glühende Holzkohlen befanden, angewärmt. Ferner ist die Vorsicht gebraucht, daß beim Ausgießen des flüssigen Asphalts immer 6 Zoll breit über die zuletzt gegossene Lage übergegriffen wurde, welche dadurch in dieser Breite wieder flüssig wurde und mit der Lage daneben einen vollkommen wasserdichten Verband bildete.

Nachdem alle diese Arbeiten hergestellt sind, wird das Aeußere der Brücke, wo es nöthig ist, noch nachgeputzt und ausgebessert. Dieses geschieht entweder von Hängegerüsten, Schiffsgerüsten oder Backgerüsten aus, je nachdem man das eine oder das andere dieser Gerüste vortheilhafter anwenden kann. Die einzelnen Fugen werden, wo es nöthig ist, ausgekratzt und aufs Neue ausgestrichen oder ausgekittet und überhaupt mit großer Sorgfalt noch einmal Alles nachgesehen. Nachdem die Brücke dann ganz vollendet ist und eben so auch die Anschlüsse an die zur Brücke führenden Straßendämme vollständig hergestellt sind, wird die Brücke dem Verkehr übergeben.

Zwölftes Capitel.

Die schiefen und krummen Brücken.

---

§. 34. Die schiefen Brücken.

Schiefe Brücken kommen vorzugsweise bei der Ueberführung einer Eisenbahn über eine Fahrstraße, so wie auch im entgegengesetzten Falle vor. Nicht selten sind sie aber auch nothwendig bei dem Uebergange einer Eisenbahn über einen Strom, wenn die Richtung der Eisenbahn den Strom nicht unter einem rechten Winkel schneidet und also die Brückenrichtung nicht auf der des Wasserlaufs winkelrecht steht. Da nun die Pfeiler von Brücken, namentlich aber bei schnellfließenden Gewässern, um die Durchgangsöffnungen für das Wasser, für

Schiffe, Eis und für sonst durchtreibende Körper möglichst vortheilhaft zu erhalten, eine mit der Richtung des Stroms zusammenfallende Richtung haben müssen, so ist natürlich, daß dieses bei Brücken, die nicht winkelrecht zur Richtung des Stromes sind, nur durch schiefe Bögen erreicht werden kann.

Bedeutend schiefe Brücken von geeigneter Construction sind nun hauptsächlich erst in neuerer Zeit und zwar am häufigsten bei den Eisenbahnen in Anwendung gekommen, indem sie hier weniger leicht als bei Fahrstraßen und in manchen Fällen gar nicht umgangen werden können. In frühern Zeiten findet man die Anwendung schiefer Brücken wenig oder doch nur sehr selten, was theilweise wohl daher rühren möchte, daß man, um der Schwierigkeiten überhoben zu sein, welche die Construction schiefer Brücken mit sich führt, den leichtern Weg einschlug und die Richtung der Straße, wenn auch erst in unmittelbarer Nähe der Brücke veränderte. Führte man sie aber dennoch aus, so geschah es meistentheils nach Constructionen, die mit den Gesetzen des Gleichgewichts nicht oder doch nur sehr wenig übereinstimmten, so daß man seine Zuflucht, um die Construction zu erhalten, zu Verankerungen und dergleichen nehmen mußte. Man betrachtete gewöhnlich oder doch sehr häufig schiefe Brücken nur als schief abgeschnittene gerade Brücken und führte sie daher auch wie gerade Brücken aus.

Es giebt aber bekanntlich jeder gerade Wölbbogen von seiner Scheitellinie aus nach beiden Seiten hin Schub in Verticalebenen, die winkelrecht auf seiner Durchgangsrichtung stehen, wenn die Stoßfugen in eben solchen Ebenen liegen und ist dann hierbei zugleich der Bogenschub kleiner, als wenn die Stützung in anders gerichteten Verticalebenen erfolgt. Nimmt man nun ferner an, es stütze sich die Wölbmasse des schiefen Bogens Figur 604 wie die eines geraden nämlich in Verticalebenen ab und cd winkelrecht zu der Scheitellinie yy, so wird bei dieser Voraussetzung der beiderseitige Bogenschub innerhalb der Verticalebenen ab und cd gleich groß sein und in der Scheitelfuge fg ein Gleichgewicht erfolgen. Anders aber verhält es sich mit den Bogenkeilstücken abh und cdk, denn hier übt offenbar das Keilstück afm einen geringern Druck gegen die Scheitelfuge lm aus, als das Bogenstück bhmf gegen eben dieselbe, so daß also nothwendig ein Ueberdruck gegen die Scheitelfuge entsteht. Dieser Ueberdruck geht aber durch den Wölbkörper hindurch und hat das Bestreben die Wölbseite ak horizontal zu verschieben oder, wenn die Ecke a feststeht, um eine Verticallinie durch a zu drehen. Dasselbe Bestreben findet aber auch statt mit dem andern Bogenkeilstücke ckd. Es folgt daher hieraus, daß jeder schiefe Bogen das Bestreben zu einer Umdrehung hat, wenn sich die Masse desselben in Verticalebenen stützen muß, die winkelrecht auf seine Durchgangsrichtung stehen. Dies findet aber immer statt, wenn ein schiefer Bogen wie ein gerader hergestellt werden soll, also wenn die Stoßflächen in Verticalebenen liegen, die auf seiner Durchgangsrichtung winkelrecht stehen und die Lagerfugen horizontal laufen. Man darf daher eine solche Construction bei Herstellung schiefer Bögen nicht benutzen.

Eben so wird auch, wenn schiefe Brücken durch angeschüttete Erddämme hindurchgehen, der Bodendruck nicht das Bestreben zur horizontalen Verdrehung

aufheben oder vermindern, sondern dasselbe wird noch um so mehr vergrößert, je mehr der hinterfüllte Boden einen Schub gegen den Bogen übt.

Es wird nun die Richtung der Stützung der Masse eines gewöbten Bogens bei seiner Herstellung oder Aufmauerung vorgeschrieben und die Stützung selbst beginnt zum Theil erst mit der Eintreibung der Schlußsteine, vollständig aber erst dann, wenn das Lehrgerüste gelüftet und entfernt wird. Die Richtung, nach welcher hin sich dann die Wölbmasse stützt, kann nur die sein, nach welcher hin sich das geringste Setzen des Bogens herausstellt. Es müssen daher auch schiefe Bögen, deren Stützung nur in Verticalebenen, parallel den Stirnflächen, erfolgen soll, dergestalt construirt werden, daß die in der Richtung eben dieser Ebenen mit dem Eintreiben der Schlußsteine oder mit der Lüftung des Lehrgerüstes eintretende Verkürzung eines schiefen Bogens in Verticalebenen am geringsten ist, die mit den Stirnflächen parallel gehen. Soll nun nach der Richtung des Bogens das Setzen desselben am geringsten werden, wodurch derselbe besonders befähigt wird, seiner Bestimmung zu entsprechen, so muß die Lagerfläche eines jeden Wölbsteins in einem schiefen Bogen nicht nur winkelrecht zur Stirnfläche, sondern auch winkelrecht gegen die zugehörende Richtung der innern Wölblinie des Bogens gerichtet sein.

Durch die Richtung der Lagerfugen eines schiefen Bogens ist aber die der Lagerflächen der Wölbsteine noch keineswegs völlig bestimmt, denn die Lagerfuge giebt nur die eine Richtung derselben an, nämlich die an der innern Wölbfläche. Zu ihrer völligen Bestimmung gehört noch die Richtung der Wölbfuge, die bekanntlich auf der zugehörenden Richtung der innern Wölblinie des Bogens winkelrecht steht. Da nun die Wölbfuge für einen Wölbstein eines schiefen Bogens keine gerade, sondern stets eine gekrümmte ist, und weil ferner die Richtung der innern Wölblinie in allen den Punkten eine andere wird, welche von der Lagerfuge getroffen werden, so folgt hieraus unmittelbar, daß die Lagerfläche eines jeden Wölbsteins in einem schiefen Bogen mit richtigen Stoß- und Lagerfugen keine gerade, sondern eine gewundene Fläche sein muß. Für den einzelnen Wölbstein eines schiefen Bogens wird nun die gewundene Gestalt seiner Lagerfläche sich um so unmerklicher zeigen und einer ebenen Fläche um so näher liegen, je geringer die schiefe Lage des Bogens ist und je kleiner die Wölbsteine im Vergleich mit dem Bogen sind.

Für die Ausführung schiefer Brücken ist es immer vortheilhaft, wenn man die an der Stirnfläche bestehende Form der innern Wölbung so wählt, daß sie sich graphisch und mathematisch leicht darstellen läßt und wird dies am einfachsten dadurch erreicht, wenn man die Gestalt der innern Wölblinie nach der Richtung der Stirnfläche einer schiefen Brücke wählt. Von dieser Linie und der schiefen Lage der Brücke hängt aber die Weite der Passagenöffnung derselben ab. Man hat daher zunächst die Weite der Passagenöffnung zu bestimmen und hat man nun hiervon sich vergewissert, daß dieselbe von der gehörigen Beschaffenheit sei, so construirt man die Bogenlinie. Es kann nun die Linie, welche die innere Wölbung bildet, ein Halbkreis, ein Kreisbogenstück oder eine Ellipse sein, oder sie kann auch die Form eines Spitzbogens erhalten, welche letztere Form aber bis jetzt wohl keine Anwendung gefunden hat. Ist die be-

grenzende Bogenlinie nach einer rechtwinkelig auf die mittlere Achse y y Figur 606 A stehenden Richtung bestimmt, so ist es keiner Schwierigkeit unterworfen, die äußere Begrenzungscurve der innern Wölbfläche zu finden, die entsteht, wenn man das durch die Widerlager und durch die innere Bogenfläche begrenzte Prisma durch eine Verticalebene A B schneidet, die mit der Richtung der Brücke irgend einen Winkel bildet, der kleiner oder größer als ein rechter ist. Man theilt nämlich den Durchmesser A C der innern Bogenlinie in irgend eine Anzahl gleicher oder ungleicher Theile, zieht durch jeden Theilungspunkt eine gerade Linie parallel zur Achse y y bis zum Durchschnittspunkte mit A B; hierauf errichtet man in den Theilungspunkten des Durchmessers A C Normalen bis zum Durchschnittspunkte mit der gegebenen Bogenlinie; dann werden auch in den Durchschnittspunkten der Linie A B, die sich durch Zeichnung der mit y y parallel gezogenen Linien ergeben haben, Normalen errichtet; diese Normalen liegen mit den gleichnamigen auf der Linie A C errichteten jedesmal in einer und derselben Verticalebene, die parallel mit der Achse y y ist, und es müssen somit die jedesmaligen zusammengehörigen Normalen eine gleiche Höhe erhalten. Trägt man daher auf jede dieser Normalen von A C aus den gleichnamigen Abstand der gegebenen Bogenlinie vom Durchmesser A C ab, so werden eine Menge Punkte erhalten und verbindet man diese Punkte durch eine fortlaufende krumme Linie mit einander, so erhält man die Begrenzungscurve des schiefen Abschnitts. Die Verzeichnung dieser Begrenzungscurve in der Ebene der Stirnseite des schief abgeschnittenen Bogens ist daher keiner großen Schwierigkeit unterworfen. Auf dieselbe Weise wird nun auch die Begrenzungscurve der äußern Wölbfläche verzeichnet.

Diese Begrenzungscurven werden stets Ellipsenbogen, wenn die in der Passagenweite liegende innere Wölblinie desselben ein Kreisbogen ist, weil, wenn man einen Cylinder, dessen Grundfläche eine Kreisebene ist, schief zu seiner Achse abschneidet, die Begrenzungscurve der entstehenden Schnittfläche immer eine Ellipse ist. Ist aber die äußere Begrenzungscurve der entstehenden schiefen Schnittfläche der Brücke ein Halbkreis oder ein Kreisbogen, so ist die in der Passagenweite liegende innere Wölblinie ein überhöhter Bogen.

Die angeführte Constructionsmethode für schiefe Brücken, aus der innern Wölblinie nach der Richtung der Passagenweite, die in der Ebene der Stirnfläche sich zeigende innere Wölblinie und so umgekehrt zu verzeichnen, gilt nicht blos für Kreis- und Ellipsenbögen, sondern auch für Spitzbögen und jede beliebige Art von Bögen, die man zum Brückenbau anwenden kann. Es bedarf daher die in Figur 607 angegebene Construction der an der schiefen Schnittfläche entstehenden Spitzbogenlinie in dieser Beziehung keiner weitern Erläuterung.

Da man aber bei dieser graphischen Darstellungsmethode bei der wirklichen Ausführung manchmal wohl nicht die erforderliche Genauigkeit einhalten kann, so ist es sehr zweckmäßig, wenn man gleichzeitig die zur Bestimmung der Curve nöthigen Punkte durch Rechnung findet, wodurch man dann in den Stand gesetzt ist, die obige Darstellung genau controliren zu können. Die Arbeit die Punkte durch Rechnung zu finden, ist durchaus keiner Schwierigkeit unterworfen.

Es sei z. B. für die Wölblinie in der Ebene A B der Stirnfläche der schiefen Brücke Figur 606 A, die dem Punkte F derselben zugehörige horizontale Absciſſe A f = x und die zugehörige verticale Ordinate f F = y; ferner die einem Punkte F' der innern Wölbung nach der Richtung der Paſſagenöffnung zugehörige horizontale Absciſſe A f' = s und die Ordinate f' F' = t, so ist, da die Punkte F und F' in einer Verticalebene liegen, die mit der Richtung der Brücke parallel geht, und demnach auch in gleicher Höhe befindlich sind

$$t = y.$$

In Betreff der Absciſſen erhält man folgende Bedingungsgleichung, wenn man den Winkel B A C, welcher die Stirnseite A B mit einer rechtwinkelig auf die Achse y y der Brücke stehenden Verticalebene bildet, mit α bezeichnet, und zwar

$$A f \operatorname{Cos} \alpha = A f' \text{ oder } x \operatorname{Cos} \alpha = s$$

und hieraus

$$x = \frac{s}{\operatorname{Cos} \alpha}.$$

Ist nun die innere Wölbung ein Halbkreis und dessen Radius = r, so erhält man leicht $t^2 = y^2 = r^2 - s^2$.

Ist aber die innere Wölblinie eine Ellipse, deren große Achse = 2 a und deren kleine halbe Achse = c ist, so entsteht, wenn man die obige Bezeichnung der Absciſſen und Ordinaten beibehält, und den Anfangspunkt der Absciſſen auf der großen Achse vom Mittelpunkt der Ellipse annimmt,

$$y^2 = \frac{c^2}{a^2} (a^2 - x^2).$$

Wir haben nunmehr die Gestalt der abgewickelten innern Wölbfläche der schiefen Brücke näher zu betrachten. Für gerade Brückenbögen ist die Mantelfläche ein Parallelogramm, dessen Seiten die Widerlager des Gewölbes und die abgewickelten Bogenlinien der Stirnflächen sind. Für schiefe Brücken dagegen entstehen zwei Seiten, die mit einander parallel sind und die Länge der Widerlager erhalten, die beiden andern Seiten sind jedoch Curven, die erst besonders entwickelt werden müssen.

Die Darstellung der Mantelfläche eines schiefen Bogens mit seinen Stoß- und Lagerfugen kann man nun auf mehrerlei Weise ausführen und sollen hier einige der am wenigsten schwierig auszuführenden Darstellungsmethoden mitgetheilt werden.

In Figur 605 ist ein Gewölbe dargestellt, dessen Stirnfläche nach einem Kreisbogen gebildet ist. Um nun die Mantelfläche mit den Stoß- und Lagerfugen zu erhalten, zeichne man zunächst, dem verlangten Brückenwinkel gemäß, den Grundriß a b c d und ziehe die Mittellinie e f. Im Punkte e errichte man eine Normale und beschreibe aus dem Punkte g mit dem zugehörigen Radius den Bogen a e b, theile diesen Bogen in die erforderliche Anzahl Wölbsteine ein und bezeichne jede Fuge mit Ziffern. Nun projectire man die Fugenpunkte der innern Wölbfläche a e b des Aufrisses auf die Linie a b des Grundrisses, wie 1 h, 2 i, 3 k u. s. w., und ziehe aus den so erhaltenen Punkten h, i, k u. s. w. die Linien h h, i i, k k u. s. w. sämmtlich parallel mit b c. Von den so erlangten Punkten b, h, i, k bis a auf der Linie a b errichte man Normalen b b', h h' u. s. w. auf b c und schneide von a aus das Breitenmaß eines Wölbsteins auf diesen

errichteten Normalen ab, indem man die ganze Länge der innern Wölblinie a e b auf a b′ (Figur 605 A) abträgt und in den Theilungspunkten dieser Linie, welche durch die gleiche Theilung wie die der innern Wölblinie, Normalen errichtet, deren Durchschnittspunkte mit den jedesmaligen zugehörigen Normalen auf b c geben die Punkte, welche, wenn man sie mit einander verbindet, die Spirale a e′ b′ bilden; dieser Spirale ziehe man die Spirale d e″ b″ parallel und theile diese in eben so viele gleiche Theile als a e′ b′ oder a e b im Aufriß.

Nunmehr hat man zunächst die Richtung der Lagerfugen zu bestimmen. Am einfachsten verfährt man, wenn man dieselben winkelrecht oder doch nahezu winkelrecht zur Spirale a e′ b′ oder d e″ b″ nimmt. Die Bestimmung der Constructionswinkel der einzelnen Schichten ist, wie wir weiter unten sehen werden, schon weitläufiger. Nimmt man die Lagerfugen nun möglich rechtwinkelig auf die Spirale oder auf die Stirnfläche, so ergeben sich zwar dadurch Abweichungen der Lagerfugen von ihrer eigentlichen Richtung und zwar am erheblichsten an den Enden des Bogens, weniger aber im Scheitel und in der Nähe desselben. Allein nichts desto weniger ist diese Richtung der Lagerfugen unbedenklich zulässig, weil das Setzen eines Bogens immer am erheblichsten in der Nähe des Scheitels erfolgt und an dieser Stelle die Abweichung nur sehr gering ist.

Hat man die Spirale d e″ b″ in die gehörige Anzahl Theile eingetheilt, so errichtet man in dem Punkte a eine Normale auf a b′; trifft diese Normale nicht in einen der Theilpunkte der Spirale d e″ b″, so zieht man von der lothrechten Richtung abweichend nach dem zunächst liegenden Theilpunkt; trifft aber diese Normale in die Mitte zwischen zwei Theilpunkten, so zieht man die Linie nach dem, dem Widerlager zunächst liegenden Theilpunkte. Parallel mit dieser Linie werden dann die übrigen die Lagerfugen bezeichnenden Linien gezogen.

Nachdem diese Linien gezogen worden sind, ist die Anzahl der Widerlagssteine auf jedem der Kämpfer zu bestimmen. Für die Fugen dieser Steine ist es aber von Wichtigkeit, daß sie durchgehends von einerlei Dimensionen sind, weshalb die Widerlager a d und b′ b″ in eben so viel gleiche Theile getheilt werden müssen, als zwischen d und z sich Steine befinden.

Zur Bestimmung der Quer- oder Stoßfugen nimmt man, da dieselben in Ebenen liegen, die parallel mit der Stirnfläche sind, die nach der Spirale oder Chorde a e′ b′ oder d e″ b″ gefertigte Chablone, legt diese bei den Punkten s und q gleichzeitig an, und, den Fugenwechsel beobachtend, durchschneidet man abwechselnd jede Längenfuge; dasselbe Verfahren wendet man auch bei den Punkten r und t an, und zwar wiederholt man dasselbe so häufig als gegenüber liegende Punkte vorhanden sind. Durch dieses Verfahren erhält man die wirkliche Länge jedes einzelnen Wölbsteins in der untern Wölbfläche. Die Steine erhalten hier nicht durchgängig gleiche Länge, sondern sie werden zunächst dem Widerlager viel länger als gegen den Schlußstein des Gewölbes, was aber einzig und allein daher rührt, daß die untere Wölbfläche der Steine am Widerlager ansehnlich mehr von der rechteckigen Gestalt abweicht, als am Schlußstein.

Zur Bestimmung der Spiralfugen im Grundriß theile man b c in eben so viele gleiche Theile als a d und ziehe die zu den Linien c d und a b parallel gehenden Linien s u, t v und indem man am Widerlager anfängt und eine Fuge

um die andere überspringt, erhält man die horizontale Projection der Stoßfugen. Jede solche horizontale Theilung wird aus eben so vielen Parallelogrammen zusammengesetzt sein, als sich Widerlagssteine auf dem Kämpfer befinden, und jeder dieser Theilstriche bildet die Stoßfuge zu den Spiral- oder Lagerfugen, welche durch Ziehen der Linien h v, l u, k c, l h und so weiter, dargestellt werden.

Um aber auch die Fugen auf der Leibung des Gewölbes (Figur 605) zu construiren, ziehe man von den Punkten 1, 2, 3 u. s. w. Parallellinien zu a b, theile dann b c in eben so viele gleiche Theile als Widerlagssteine auf dem Kämpfer b c sind, also hier 3 Theile. Von dem Mittelpunkte f des Grundrisses ziehe man die Linien f g′ normal auf c d und aus g, als Mittelpunkt für den Bogen a e b, ziehe man die Linie g g′ rechtwinkelig auf f g′, so ist g′ der Mittelpunkt für die hintere Bogenstirnfläche. Theilt man nun g g′ in so viele gleiche Theile als b c, also hier in 3 Theile, so erhält man die Mittelpunkte für die von s und t construirten aufsteigenden Bögen. Diese vom Widerlager anfangenden, eine Parallelschicht um die andere überspringenden Kreisbogen ergeben die Richtung der Quer- oder Stoßfugen im Aufriß. Verbindet man dann den Punkt s mit 1, t mit 2, c mit 3 u. s. w., so erhält man die Lagerfugen im Aufriß, die sich aber nur als unbedeutend gekrümmte Linien darstellen.

In den Figuren 606, 606 A und B ist ein schiefes Gewölbe im Aufriß, Grundriß und in der Abwickelung dargestellt, dessen innere Gewölbeöffnung nach einem Halbkreise geformt ist und dessen Stirnfläche daher eine elliptische Form erhält. Die Darstellung der Spiralfugen, so wie die der Bogenfugen, sowohl im Aufriß, als auch im Grundriß und in der Mantelfläche geschieht ganz auf dieselbe Weise, wie bei der vorigen Figur beschrieben ist.

In den Figuren 607 und 607 A ist ein schiefes Gewölbe nach einer spitzbogenförmigen Gestalt dargestellt. Auch hierbei ist die Construction ganz ähnlich, wie bei den beiden vorher gehenden Fällen, und bedarf daher auch diese Figur keiner weitern Erläuterung.

Weitere Nachrichten hierüber findet man in der Zeitschrift für praktische Baukunst von Romberg, Jahrgang 1847. Die hier bezügliche Abhandlung über Construction schiefer Gewölbe von John Hart ist jedenfalls sehr praktisch und möchte die darin gegebene Anweisung wohl in den meisten Fällen genügen, weshalb wir auch besonders aufmerksam darauf machen wollen.

Wir haben oben angeführt, daß man in der abgewickelten Fläche des Gewölbes ohne großen Nachtheil die Richtung der Lagerfugen beinahe rechtwinklig auf die äußere Chorde nehmen könne und daß dies nur einigen erheblichen Einfluß auf die Richtung derselben an den Enden des Bogens habe. Will man aber die Richtung der Lagerfugen genauer und richtiger haben, so muß man zunächst diejenigen Winkel kennen, unter welchen sich die einzelnen Lagerfugen an das Widerlager schließen. Daß dieser Winkel nun für den ganzen Bogen nicht überall gleich sein kann, versteht sich von selbst, denn vom Scheitel aus nach den Enden hin verändert sich die Größe desselben. Man hat daher für jeden Bogen mehrere Constructionswinkel zu suchen oder zu bestimmen. Dieses kann nun auf mehrerlei Weise geschehen; eine sehr einfache Darstellung des Constructionswinkels ist in Figur 608 angegeben.

Es sei ADE der als Kreis erscheinende schiefe Schnitt des Cylinders und der Winkel ABG derjenige Winkel, um welchen das Gewölbe von der senkrechten Richtung abweicht. Sucht man nun für irgend einen Punkt D des Kreises den Constructionswinkel, so ziehe man durch den Punkt D eine horizontale Linie Dh; beschreibe alsdann aus B mit dem Halbmesser Bh einen Kreisbogen hi bis zum Durchschnittspunkt i mit BG, dem Schenkel des Winkels ABG, ziehe alsdann durch den Durchschnittspunkt i auf hD eine Normale iF bis zum Durchschnittspunkt F mit dem Kreise ADE; verbindet man dann den Punkt F mit B, so ist $\angle$ ABF der gesuchte Constructionswinkel für den Punkt D.

Auf dieselbe Weise kann man nun mit jedem andern Punkte des Kreises verfahren, und eben so auch kann man, wenn der Winkel gegeben ist, ohne Schwierigkeit den zugehörigen Punkt in dem Umfange des Kreises finden.

In den Figuren 609 ist nun die Mantelfläche mit den Lagerfugen dargestellt, deren Richtungen mit den erwähnten Constructionswinkeln bestimmt sind.

Es sei hier hgf... C Figur 609 der senkrechte Querschnitt einer Cylinderfläche, welche eine Ellipse oder ein Kreisbogen sein kann. Man theilt denselben je nach der Genauigkeit, welche man erreichen will, in mehr oder weniger gleiche Theile hg = gf = fe = u. s. w. = aC, und bestimmt für jeden der Theilungspunkte den zugehörigen Constructionswinkel, wie oben angedeutet. Diese so gefundenen Winkel zeichnet man in einen besondern Kreisbogen, wie hier in Figur 609 A geschehen, und wo der $\angle$ BAa dem Punkte a, $\angle$ BAb dem Punkte b, $\angle$ BAc dem Punkte c u. s. w. in Figur 609 entspricht. Ist nun ferner BD die horizontale Projection des schiefen Querschnitts des Cylinders und AC diejenige des senkrechten Querschnitts, und sind g″, f″, e″, d″, c″, b″, a″ die Projectionen der gleichnamigen Punkte im Aufrisse, so geben die durch diese Punkte gezogenen verticalen Linien g″g′, f″f′, e″e′ u. s. w. Die Ordinaten der in der abgewickelten Fläche als Curve erscheinenden Linie des schiefen Schnittes. Trägt man nun auf einer geraden Linie AB Figur 609 B, die Theile Bg′, g′f′, f′e′ u. s. w. gleich den entsprechenden Bogenlängen hg, gf, fe u. s. w. auf Figur 609 auf, und schneidet auf den, durch diese Punkte auf AB gezogenen Verticallinien die Theile g′g″, f′f″, e′e″ u. s. w. gleich den mit denselben Buchstaben bezeichneten Linien auf Figur 609 ab und verbindet die dadurch sich ergebenden Punkte, so erhält man die durch die schiefe Linie BD in der abgewickelten Fläche erscheinende Curve.

Verlängert man nun die Linien g″g′, f″f′, e″e′ u. s. w. und trägt zwischen je zwei dieser Linien die Winkel g′sB, f′s′s, e′s″s′ u. s. w. gleich den durch die Construction gefundenen Winkeln BAa, BAb, BAc u. s. w., so geben die Durchschnittspunkte dieser Linien mit den Verticalen g′s, f′s′, e′s″, d′s‴ u. s. w. die gesuchten Punkte s, s′, s″, s‴ u. s. w. einer Lagerfuge. Je kleiner man nun die Entfernung der Punkte B, g′, f′, e′ u. s. w. von einander nimmt, um so richtiger werden jedenfalls die erhaltenen Punkte einer Lagerfuge sein. Hat man eine dieser Linien construirt, so ist es keiner Schwierigkeit unterworfen, mehrere derselben zu finden, indem man nur von den Punkten B, s, s′, s″ u. s. w.

auf den verlängerten Linien g' s, f' s', e' s'' u. s. w., je nachdem man die Linien in größern oder kleinern Abständen erhalten will, größere oder kleinere gleiche Theile aufträgt und die so erhaltenen Punkte durch Curven verbindet.

Man kann sich diese Arbeit noch erleichtern, wenn man anstatt für jede einzelne Lagerfuge den Constructionswinkel zu suchen, einen mittlern Constuctionswinkel annimmt. Hierbei giebt es aber auch eine Grenze, welche nicht überschritten werden darf, und diese Grenze würde anzunehmen sein bis zu einer Differenz von höchstens 10 Grad, wo dann die größte Abweichung des mittlern von dem wahren Constructionswinkel sich zu 5 Grad ergeben würde.

Bezeichnet man daher den Winkel, unter welchem das Gewölbe von der senkrechten Richtung abweicht mit α, so suche man aus der Construction die Punkte des senkrechten Querschnitts, welche dem Winkel $\alpha - 10^\circ$, $\alpha - 20^\circ$, $\alpha - 30^\circ$ u. s. w. entsprechen, und construire das Gewölbe so, daß der Theil der Fläche, welcher zwischen den Scheitel und den ersten so gefundenen Punkt des Bogens fällt, mit einem mittlern Constructionswinkel, welcher gleich $\frac{\alpha + \alpha - 10^\circ}{2} = \alpha - 5^\circ$, der Theil, welcher zwischen den ersten und zweiten Punkt fällt, mit einem mittlern Constructionswinkel von $\frac{\alpha - 10 + \alpha - 20}{2} = \alpha - 15^\circ$ und so fort ausgeführt wird.

In Figur 610 ist die abgewickelte Mantelfläche eines solchen vollen Gewölbes dargestellt, welches unter einem Winkel von 40° von der senkrechten Richtung abweicht, mithin $\alpha = 40^\circ$ ist. Es sei hier AB der Scheitel des Gewölbes, CD, EF, GH stellen die Linien dar, welche den Winkeln $\alpha - 10^\circ = 30^\circ$, $\alpha - 20^\circ = 20^\circ$, $\alpha - 30^\circ = 10^\circ$ entsprechen, und es muß sonach die Fläche, welche zwischen den Linien CD und CD liegt, mit einem mittlern Constructionswinkel von 35°, die Flächen zwischen den Linien CD und EF mit einem solchen $= 25^\circ$, die Flächen zwischen den Linien EF und GH mit einem Winkel $= 15^\circ$ und endlich die auf beiden Seiten noch übrigen Flächen mit einem mittlern Constructionswinkel von 5° ausgeführt werden.

In den Figuren 610 A und B sind die Hilfslinien zur Darstellung der Curve MK, so wie die Ausmittelung der Punkte C, E, G der abgewickelten Fläche dargestellt, was aber nach dem bereits oben Angeführten keiner weitern Erläuterung bedarf.

Nachdem wir über die Construction der schiefen Brücken das Nöthige gesagt, bleibt noch die Ausführung derselben zu besprechen übrig.

Wenngleich das früher Erwähnte über Ausführung der Brücken im Allgemeinen auch hierbei Anwendung findet, so treten doch außerdem bei der Ausführung schiefer Brücken Umstände ein, die noch besonders berücksichtigt werden müssen.

Was zunächst die Stärke der Widerlager und Gewölbe betrifft, so muß diese auch hier ganz nach den oben angeführten Gesetzen der Gewölbetheorie ausgemittelt werden, jedoch mit dem Unterschiede, daß man die Stärke nicht nach der rechtwinkeligen Richtung ermittelt, sondern nach der Richtung, welche die äußern Stirnflächen haben, weil in dieser Richtung auch nothwendig die

Stützlinien des Gewölbes liegen, indem wie schon oben angeführt, schiefe Bögen das Gewicht ihrer Masse nur in Verticalebenen stützen, die den Stirnflächen parallel sind. Da nun also der Horizontalschub eines schiefen Bogens von regelrechter Construction und Ausführung nicht vom Krümmungshalbmesser im Scheitel der mittlern Wölblinie nach einer Verticalebene winkelrecht zu seiner Durchgangsrichtung, sondern nur vom Krümmungshalbmesser im Scheitel der mittlern Wölblinie nach einer Ebene parallel zur Stirnfläche abhängt, dieser letztere Krümmungshalbmesser aber um so größer als der erstere wird, je größer man die Schiefe nimmt, so folgt hieraus nothwendig, daß bei unveränderlicher Passagenweite der Horizontalschub eines Bogens mit seiner Schiefe zunimmt und geht hieraus also hervor, daß, um einen möglichst geringen Horizontalschub bei Bögen von vorgeschriebener Passagenweite zu erhalten, man denselben eine möglichst geringe Schiefe gebe.

Die schiefen Bögen müssen, wie gerade, ebenfalls auf Lehrgerüsten erbaut werden, und muß die Form der Lehrbögen nach derjenigen Richtung bestimmt werden, welche zur Stirnfläche parallel ist; es müssen alsdann die Lehrbögen auch parallel zu den Stirnflächen aufgestellt werden. Unterläßt man dies aus Bequemlichkeit oder sonstigen Gründen und stellt die Bögen nach der Richtung der Passagenweite, also rechtwinkelig zur Achse der Brücke, so entsteht in der Nähe der Stirnflächen nothwendig eine ungleiche Biegung der Lehrgerüste, weil dieselben hier nur an einer Seite belastet werden. Diese ungleichförmige Biegung wirkt aber nicht blos nachtheilig auf die Form, sondern auch auf die Stützungsrichtung und den Halt des schiefen Bogens. Man darf daher eine rechtwinkelig auf die Achse der Brücke stehende Stellung der Lehrbögen nur bei geringen Spannweiten anwenden und dann muß auch das Lehrgerüst noch sehr fest und steif sein, damit dasselbe den an den Stirnflächen entstehenden einseitigen Belastungen vollständig widerstehen könne ohne durchzubiegen.

Die schiefen Bögen können sowohl in Quadersteinen als auch mit Ziegelsteinen ausgeführt werden. Bei Anwendung von Quadersteinen muß ein richtiger Fugenschnitt eingehalten, also jeder einzelne Stein besonders zugehauen werden, was aber jedenfalls immer sehr zeitraubend ist und nicht selten auch vielen Steinabfall veranlaßt. Führt man dagegen das schiefe Gewölbe mit Ziegelsteinen aus; so wird das Behauen der Steine beinahe überflüssig und ist nur bei den Anlaufsteinen und bei den Stirnflächen noch nothwendig. Im Innern des Gewölbes ist kein weiteres Behauen der Ziegelsteine erforderlich, als wo es der Verband erfordert, indem einmal die Ziegel mit ihrer untern Fläche senkrecht auf das Lehrgerüst gestellt werden und ferner die Veränderungen der Richtungen der Lagerfugen nicht selten durch den Mörtel allein ausgeglichen werden können. Sollte dieselbe aber so groß werden, daß sie durch den Mörtel allein nicht mehr ausgeglichen werden kann, so wird man sich durch die selbst aus einem und demselben Brande noch immer ungleichen Dimensionen der Ziegel oder andere von Fall zu Fall sich von selbst ergebende Mittel behelfen können.

Was den Fortgang des Baues anbetrifft, so giebt es hierbei vorzüglich zwei Methoden. Die ältere Methode besteht darin, daß man in den zwei dia-

gonal gegenüber stehenden spitzen Winkeln des Gewölbes beginnt, den ersten Anlaufstein bis zur Höhe des folgenden ausmauert, dann die beiden ersten bis zur Höhe des dritten, und so fortfährt. Diese Methode führt aber mehrfache Nachtheile mit sich; erstlich schreitet der Bau sehr ungleich vor, indem anfangs nur zwei Arbeiter dabei beschäftigt und erst im Verlaufe der Arbeit immer mehr und mehr Arbeiter angestellt werden können. Ferner aber wird durch dieses ungleiche Fortschreiten nothwendig auch das Lehrgerüst ungleich belastet und es müssen alle hieraus entspringenden nachtheiligen Folgen befürchtet werden. Die in neuerer Zeit angewendete Methode besteht aber darin, daß man die Arbeit nach der ganzen Länge der Widerlager und zwar auf beiden Seiten zugleich beginnt und wie bei jedem andern Gewölbe ungehindert fortarbeitet. Beide Methoden erfordern aber eine vorläufige Austheilung des Verbandes, damit, wenn die Arbeit bis gegen den Gewölbeschluß vorgeschritten ist, dort die Lagerfugen gehörig zusammentreffen. Die vorherige Austheilung des Verbandes auf dem Lehrgerüst ist auch aus anderer Rücksicht sehr zweckmäßig, indem man dann jedesmal im Stande ist, die Lagerfugen nach verticaler Richtung gehörig zu rectificiren.

Statt der schiefen Brücken, wie wir sie oben näher beschrieben, hat man mehrfach die sogenannten schiefen Gurtbogenbrücken zur Ausführung gebracht. Sie bestehen aus einzelnen geraden Bogen, die nach Maßgabe der Durchgangsrichtung zur Stirnfläche an einander gestellt sind. Wir lernen diese Brücke am besten durch Anschauung der hier gegebenen Beispiele kennen, deren Beschreibung wir hier unmittelbar folgen lassen.

In den Figuren 588, 589 und 590 ist die Gurtbogenbrücke über die Treisam im Breisgau in der Ansicht, im Grundriß und im Querdurchschnitt dargestellt.

Diese Brücke, welche nur eine geringe Schiefe hat, ist für zwei Bahngeleise erbaut und hat eine Spannweite von 60 Fuß. Die Breite der Brücke beträgt 26 Fuß, und da hier vier Gurtbögen angeordnet sind, so hat ein jeder derselben eine Breite von 6 Fuß 3 Zoll. Jedes dieser vier rechtwinkeligen Tonnengewölbe wurde für sich versetzt und die Verbindung derselben durch Einlegen langer übergreifender Steine in die Uebermauerung des Gewölbes hergestellt. Ein Uebergreifen der Gewölbsteine des einen Bogens in den andern konnte nicht stattfinden, weil die Bogen an jeder Stelle rechtwinkelig auf die Stirnflächen immer verschiedene Höhen haben.

Ein anderes Beispiel dieser Art ist in den Figuren 591—594 angeführt, welche Figuren den Viaduct zu Rheinweiler in der Ansicht im Quer- und Längendurchschnitt und im Grundriß darstellen.

Dieser Viaduct wird von der Eisenbahn unter einem Winkel von 75 Grad geschnitten. Die Spannweite der Ueberbrückung ist 17 Fuß 7 Zoll und die Bogenhöhe 3 Fuß. Das Gewölbe ist im Scheitel 22 Zoll stark und besteht aus vier gleich breiten senkrechten Tonnengewölben, deren jedes, da die ganze Breite 25 Fuß beträgt, eine Breite von 6 Fuß 3 Zoll hat.

Das Uebrige erhellt zur Genüge aus den Zeichnungen, weshalb es hier keiner weitern Erläuterung bedarf.

Eine der ältern Brücken dieser Art ist die schiefe Brücke längs der neuen Straße von Mailand nach Novara, welche in den Figuren 585 und 586 im Aufriß, Durchschnitt und im Grundriß dargestellt ist. Die Brücke hat eine Spannweite von 26 Meter bei einer Pfeilhöhe von $4\frac{1}{2}$ Meter und weicht die Mittellinie derselben, nach der Richtung der Straße von der des Canals, über welchen sie geführt ist, in der Art ab, daß der hierdurch gebildete spitze Winkel 24, der stumpfe Winkel aber 156 Grad beträgt.

Die Breite der Brücke zwischen den beiden Frontmauern beträgt 10 Meter. Das Gewölbe ließ man aus einzelnen Schichten bestehen, die sowohl in Bezug auf die äußere Verkleidung, wie auch rücksichtlich des Ziegelmauerwerks im Innern auf die Art hergestellt wurden, daß die einzelnen Schichten nicht mit den Widerlagspfeilern, sondern mit den Stirnflächen parallel liefen. Es entstanden hierdurch eine Menge einzelner Gewölbgurten, die aber wegen ihrer geringen Ausdehnung und Breite sehr gut mit einander verbunden werden konnten, da die Höhenunterschiede, zumal bei dem dazu verwendeten Material nur immer sehr unbedeutend sein konnten.

Es ist nicht zu verkennen, daß diese Gewölbe weit leichter und einfacher herzustellen sind, als die oben beschriebenen schiefen Brückengewölbe, aber sie führen auch den Nachtheil mit sich, daß sie nie die Solidität gewähren, die ein wahrhaft schiefer Bogen mit versetzten Stoßfugen bei richtiger Construction und Ausführung bietet. Namentlich ist die Tragfähigkeit schiefer Gurtbogenbrücken ungleich geringer, als die der eigentlich schiefen Brücken mit gewechselten Stoßfugen, indem die einzelnen Bögen, die ohnehin nur in der Ueber- und Hintermauerung ihre Verbindung erhalten, bei Uebergang einer Last nicht gleichförmig belastet werden oder doch die Belastung ungleichförmig auf die verschiedenen Bögen drückt.

Außer oben erwähnten Beispielen, die sich bewährt haben, hat man noch mehrere andere Beispiele, wo diese Arten von Brücken sich als genügend bewährt gezeigt haben; man kann daher, trotzdem, daß diese Brücken jedenfalls eine geringere Tragfähigkeit haben als die oben näher beschriebenen, deren Anwendung nicht verwerfen, sondern im Gegentheil ist unter Umständen ihre Anwendung sogar zweckmäßig, zumal, wenn man mit ungeschickten Arbeitern eine solche Brücke ausführen soll, indem ihre Ausführung weit geringere Schwierigkeiten hat, als irgend andere für schiefe Brückengewölbe angewendete Verbindungsarten.

Die frühere Methode der Herstellung der schiefen Brücken mit Schichten parallel den Widerlagern übergehen wir hier ganz, indem ihre Anwendung ganz unstatthaft ist; die Construction kann sich nicht selbst, sondern erst durch Anwendung vieler eiserner Anker und Klammern und dann auch noch höchst mangelhaft tragen.

§. 35. Die krummen Brücken.

Die krummen Brücken kommen nur bei Eisenbahnen vor und zwar an solchen Stellen, wo die Richtung derselben von der geradlinigen abweicht. Es

muß dann der Uebergang aus der geradlinigen Richtung in die krummlinige möglichst unmerklich und der Theil einer Krümmung, den die Länge eines Wagenzugs einnimmt, ein Bogen sein, welcher mit seiner Sehne nahe zusammenfällt. Es muß daher der Halbmesser zu einem solchen Bogen sehr groß sein. Die gewöhnlich vorkommenden Curven sind einfache, aus einem Kreisbogen bestehende; selten kommen aber die sogenannten Contrecurven vor, deren Gestalt ∾förmig ist, und die durch zwei Kreisbögen zusammengesetzt werden. Die Krümmungen der Eisenbahnen oder die sogenannten Curven werden dann als Kreisbögen in der Art gestaltet, daß die Richtung oder die Tangente des Endpunktes einer solchen mit der sich anschließenden geradlinigen oder krummlinigen Richtung zusammenfällt.

In vielen Fällen kann man übrigens die krummen Brücken ganz vermeiden, indem man, wenn die Länge der Brücke, welche in eine Curve fällt, nur gering ist, eine geradlinige Brücke von größerer Breite als gewöhnlich aufführt und darüber dann die Bahn in krummliniger Richtung führt.

Die Herstellung der krummen Brücken kann in zweierlei Weise geschehen.

Erstens werden die Schäfte oder Pfeiler der Brücke nach dem zugehörenden Mittelpunkte der Krümmung gerichtet, und zwar so, daß die Seiten der Pfeiler in die Richtung des jedesmaligen Radius fallen, wodurch aber die horizontale lichte Oeffnung zwischen je zwei Pfeilern, über die sich ein Bogen spannt, trapezförmig wird und also die lichte Spannweite eines jeden Bogens sich von innen nach außen erweitert, wie dieses in Figur 611 näher angedeutet ist. Nimmt man hierbei den Bogenanfang an jedem der beiden begrenzenden Pfeiler in durchaus gleicher horizontaler Höhe und die innere Wölblinie an der innern, dem Mittelpunkte zunächst liegenden Stirnfläche als Halbkreis, so muß die von der innern Stirnfläche nach der äußern hin gelegene innere Wölbfläche von der cylindrischen Gestalt nothwendig abweichen, und zwar der Art, daß die innere Wölblinie an der äußern Stirnfläche als ein gedrückter Bogen erscheint, sobald auch die Scheitellinie des ganzen Gewölbes eine durchaus wagerechte Richtung erhalten soll.

Da aber in Eisenbahncurven die Schienen stets in einer gegen den Mittelpunkt der Curve geneigten Ebene liegen, so kann auch ohne großen Nachtheil die Anordnung der Gewölbe so getroffen werden, daß die Scheitellinien derselben sich ebenfalls gegen den Mittelpunkt der Curve hinsenken, und die Gewölbe also von innen nach außen sich nicht allein erweitern, sondern auch ansteigen, und wenn die innere Wölblinie an der innern Stirnfläche ein Halbkreis ist, auch alle zwischen den beiden Stirnflächen liegenden Wölblinien ebenfalls Halbkreise sein können. Das Ansteigen der Scheitellinie kann auf der geringen Länge im Verhältniß zu der großen Länge des Krümmungshalbmessers nur immer geringe werden.

Nehmen wir z. B. an, der Krümmungshalbmesser der innern Curve sei = 900 Fuß, die Breite der Brücke = 32 Fuß und der Halbmesser der Wölbung an der innern Stirnfläche = 20 Fuß, so hat man wenn x die Steigung des Gewölbes bezeichnet, die Proportion

$$900 : 32 = 20 : x$$

und hieraus

$$x = 8{,}53 \text{ Zoll.}$$

Es würde sich hiernach auch gleich der Halbmesser der Wölblinie an der äußern Stirnfläche = 20′ 8,53″ ergeben.

Wollte man bei dieser Anordnung die Scheitel der Gewölbe nach wagerechter Richtung anordnen, so würde die Ausführung der Gewölbe jedenfalls sehr bedeutende Schwierigkeiten verursachen, ohne daß dadurch ein Nutzen erwüchse. Im Gegentheil ist es sogar zweckmäßiger, wenn man das Gewölbe, nämlich den Scheitel desselben, nach außen hin etwas ansteigen läßt. Denn in dieser Gestalt wird es dem Centrifugaldruck, welcher bei Eisenbahnzügen über die Brücke nothwendig entsteht, einen größern Widerstand leisten und das Bestreben dieses Drucks, die krumme Brücke von der concaven nach der convexen Stirnfläche hin umzuwerfen, mehr unschädlich machen.

Was die Pfeiler- und Stirnflächen betrifft, so sieht man mit Rücksicht auf die praktische Ausführung von der kreisförmigen Gestalt der Stirnflächen einer krummen Brücke ganz ab und legt gewöhnlich die verticale Stirnfläche eines jeden Bogens oder Pfeilers in die Richtung der zugehörigen Sehne, wodurch dann die ursprünglich krumme Brücke eine polygonale Gestalt annimmt. Es liegt zwar keineswegs außer dem Bereiche der Möglichkeit, die Stirnflächen der Pfeiler oder Bögen kreisförmig herzustellen, einmal ist aber durchaus keine Nothwendigkeit dazu vorhanden und ferner ist auch kein Vortheil zu bezeichnen, der für die kreisförmige Krümmung spräche, sondern im Gegentheil entsteht der Nachtheil, daß sowohl an Material als an Arbeitslohn ein größerer Aufwand erforderlich würde.

Die zweite Methode, krumme Brücken zu bauen, besteht darin, daß man die lichte Weite des Bogens an der innern Stirnfläche gleich der desselben an der äußern Stirnfläche macht. Diese Anordnung bringt zu Wege, daß anstatt, wie bei der ersten Methode die Grundrißform eines jeden Bogens eine trapezförmige wurde, hier die Pfeiler die Form eines Trapezes erhalten, dagegen das Gewölbe im Grundriß ein Rectangulum bildet, wie in Figur 612 dargestellt ist.

Wenngleich nun bei dieser Anordnung die Gestalt der Pfeiler sehr verliert, so ist doch auch nicht zu verkennen, daß ihre Ausführung weit leichter ist, als die der erstern Methode. Bei dieser zweiten tritt aber noch ferner der Umstand hervor, daß bei der Zunahme der Pfeilerlänge von der innern Stirnfläche nach der äußern hin, nicht auch in demselben Maße die Belastung durch die Bogen von der innern Stirnfläche nach der äußern zunimmt, sondern gleichmäßig bleibt; man hat daher hierbei Rücksicht darauf zu nehmen und die Pfeiler so anzuordnen, daß dieses ohne allen Nachtheil geschehen kann, was man wohl am ersten dadurch erreicht, daß man den Pfeiler inwendig hohl macht. Uebrigens ist auch der Nachtheil, welcher durch eine Vollmauerung der Pfeiler entsteht, nicht groß oder doch sehr unbedeutend, wenn man bei der Gründung der Pfeiler gleich die gehörige Vorsicht beachtet und die Anordnung derselben so trifft, daß eine gleichförmige Vertheilung des Pfeilerdrucks auf seine Grundfläche hergestellt wird.

Ein Umstand, der bei den nach der ersten Methode ausgeführten krummen Brücken noch ganz besonders zu erwägen ist, ist der, daß aus dem ungleichen

Druck, welchen ein jedes Gewölbe auf seine Widerlager, also auf die einzelnen Pfeiler ausübt und welcher von der innern Stirnfläche gegen die äußere hin sich vergrößert, ein Druck entsteht, welcher das Bestreben hat, den Pfeiler nach auswärts zu schieben. Bei der trapezförmigen Grundrißform der Gewölbe entsteht auf jeden einzelnen Pfeiler ein Horizontalschub, der nicht rechtwinkelig auf die Seitenfläche der Pfeiler, sondern parallel zur Richtung der Stirnfläche auf die Pfeiler wirkt. Denkt man sich nun die Wirkung zweier Bögen auf einen Pfeiler, so treten sich diese nicht einander entgegen, d. h. ihre Richtungen fallen nicht in eine gerade Linie, in welchem Falle sie sich gegenseitig aufheben würden, sondern sie schneiden sich auf der Mittellinie des Pfeilers unter einem Winkel, welcher gleich dem Winkel ist, welchen die beiden bezüglichen Stirnflächen mit einander bilden. Der hierdurch entstehende Horizontalschub gegen den Pfeiler nach der Richtung seiner Länge wird nun jedenfalls vergrößert durch eine Verkleinerung des Krümmungshalbmesser bei sonst gleicher Bogenweite; ferner aber hängt er auch hauptsächlich von dem Seitendruck der Gewölbe selbst ab.

Man hat daher bei der Aufführung krummer Brücken den oben beregten Umstand wohl zu berücksichtigen. Ist die Pfeilerhöhe nur gering, so kann man diesen radialen Schub gegen den Pfeiler nach auswärts unberücksichtigt lassen; dagegen ist es bei hohen Pfeilern nicht allein zweckmäßig, sondern es kann sogar auch nothwendig werden, daß man die Pfeiler an ihrer äußern Stirnseite mit hinreichend starken Strebepfeilern versieht, um dem erwähnten Horizontalschube entgegenzuwirken.

Ferner hat man darauf zu achten, daß die Bögen bei krummen Brücken alle möglichst gleich sind und zu vermeiden sind flache Bögen, indem durch diese nur der Horizontalschub noch vergrößert werden würde. Eben so muß man auch möglichst zu große Spannweiten vermeiden, indem dadurch ebenfalls nur eine Vergrößerung des Horizontalschubes herbeigeführt werden würde. Ist es aber irgend thunlich, so vermeide man ganz die Herstellung krummer Brücken.

Man kann auch, zumal wenn der Krümmungshalbmesser sehr groß ist, krumme Brücken durch Zusammenstoßung zweier oder mehrerer geradliniger Brückentheile ersetzen, wo dann jeder einzelne mehrere Bögen umfaßt, deren Zwischenpfeiler eine rechteckige Grundform erhalten, und nur die Zwischenpfeiler zwischen je zwei zusammenstoßenden geraden Brückentheile erhalten dann eine trapezförmige Grundform.

Daß eine solche Anordnung mit geraden Bogen weniger schwierig auszuführen ist, liegt klar auf der Hand; allein sie bietet auch wieder dem Centrifugaldruck, welcher bei überfahrenden Zügen entsteht, einen geringern Widerstand, als solche Gewölbe, die sich nach außen erweitern und deren Scheitel ebenfalls ansteigt.

Dieser Centrifugaldruck, den krumme Brücke durch übergehende Wagenzüge erleiden, ist nun zwar nur gering und kommt nur dann in Betracht, wenn die Brücke sehr hoch ist und die Pfeiler im Verhältniß nur schwach sind. Bei niedrigen Brücken kann man dies mehr übersehen, weil da nicht zu befürchten

ist, daß durch den Druck Schwingungen hervorgebracht werden und kann man sich in diesen Fällen immer des einfachern Verfahrens bedienen.

Eine der größten krummen Brücken, die ausgeführt sind, ist der Thomas-Viaduct auf der Baltimore-Ohio-Eisenbahn. Derselbe besteht aus 8 Bögen, jeder von 58 Fuß Spannweite. Die Pfeiler haben eine trapezförmige Gestalt, während die Grundform der Bogenweite ein Rectangulum ist. Der Viaduct dessen Krümmungshalbmesser 1300 Fuß ist, hat die Form eines Polygons, dessen Seiten sich unter einem Winkel von 176° 56′ schneiden. Die Höhe der Bahn über dem Wasserspiegel ist 66 Fuß und die ganze Höhe von der Basis des auf Felsen ruhenden Fundaments bis zur Oberfläche des Geländers 88 Fuß. Die mittlere Breite der Pfeiler ist am Sockel 16 Fuß und bei den Widerlagern 10 Fuß. An beiden Stirnseiten sind sie vom Sockel aufwärts halbkreisförmig abgerundet.

Dreizehntes Capitel.

§. 36. Von den Thalüberbrückungen.

Schon in frühern Zeiten, als namentlich auch zur Zeit der Römer, erbaute man nicht unbedeutende Thalüberbrückungen, die hauptsächlich in Anwendung kamen, um über tiefe Thäler Wasserleitungen fortzuführen. Diese Bauten wurden immer sehr massenhaft ausgeführt, was daher rühren mochte, daß man noch nicht die Theorie der Gewölbe, so wie überhaupt die statischen Wissenschaften kannte und dennoch immer einen guten Erfolg erzielen wollte. In neuerer Zeit dagegen, wo durch die vielen Eisenbahnbauten häufige Ueberbrückungen nothwendig wurden, wobei die Geldkosten gleichzeitig strenge zu Rathe gehalten werden mußten, wurden diese Ueberbrückungen, trotz ihrer größern Ausdehnung gegen die frühern nicht mehr so verschwenderisch massenhaft aufgeführt, sondern man suchte, wo es der Festigkeit und der Stabilität unbeschadet geschehen konnte, an Material zu sparen, indem durch unnütze Verschwendung von Material der Bau nicht allein vertheuert, sondern auch unnütz beschwert worden wäre.

Wir wollen nunmehr die einzelnen Arten von Formen betrachten, welche man bei größern Thalüberbrückungen theils vorgeschlagen und theils wirklich in Anwendung gebracht hat.

Bei bedeutender Pfeilerhöhe hat man nicht selten zwischen die Pfeiler unterhalb der eigentlichen Tragbögen noch Bögen eingespannt, die gewöhnlich mit dem Namen Spannbögen bezeichnet werden, so daß also der ganze Bau als aus mehrern Etagen bestehend erscheint. Der Zweck dieser Spannbögen ist

hauptsächlich der, eine gegenseitige Stützung der Pfeiler gegen Ausbiegung nach der Längenrichtung der Brücke zu erhalten. Daß dieser Zweck durch die Anordnung der Spannbögen nun erreicht wird, liegt klar auf der Hand; es kommt dabei aber immer noch die Gesammtanordnung der Ueberbrückung in Betracht, ob durch diese der beabsichtigte Zweck nicht auch wieder verfehlt werden möchte. Wir haben in dieser Hinsicht zweierlei Formen zu betrachten und zwar einmal eine Form über einander stehender Bogenstellungen mit wachsender Pfeilerzahl und ferner eine solche, wo die Pfeiler bis zum eigentlichen Tragbogen aufgehen und nur durch Anordnung von Spannbögen in Etagen getheilt sind.

Was die erste Form betrifft, so sind in den Figuren 613, 614 und 615 verschiedene hierher gehörige Beispiele näher dargestellt. Bei wachsender Pfeilerzahl, wie in den bezeichneten Figuren angedeutet, ist es natürlich, daß die obern Pfeiler nicht überall auf die von unten her geführten Pfeiler zu stehen kommen, sondern es kommen auch mehrere auf die untern Bögen zu stehen. Es ist schon vielfach die Erfahrung gemacht, daß wenn auf den Scheitel eines Rundbogens ohne hohe Uebermauerung ein stark lastender Pfeiler zu stehen kommt, hierdurch jener zerdrückt oder doch derartig durchgebogen wird, daß auf ein Erhalten desselben auf längere Zeit nicht zu rechnen ist. Wird dagegen der Pfeiler entfernt vom Scheitel des Bogens auf denselben aufgeführt, so trägt der Bogen den Pfeiler. Allein von einer großen Entfernung der aufgeführten Pfeiler vom Scheitel kann hier nicht wohl die Rede sein, sondern die Pfeiler stehen noch immer so nahe dem Scheitel, daß ihre Wirkung auf den Bogen immer noch eine sehr nachtheilige bleibt, indem durch diese Last diejenige Linie, in welcher der Bogen vor Aufsetzung solcher Lasten seine eigene Masse stützt, dergestalt verändert wird, daß jene Last als Bestandtheil der Bogenmasse auftritt und wie diese zu stützen ist. Ueberhaupt wird auch der Druck der jedenfalls sehr bedeutenden Last, welcher durch die Bogenstellungen auf die untenstehenden Bögen übertragen wird, auf diese letztern größer als die Last selbst, weil sie von diesen nicht in verticaler Richtung gestützt werden kann. Es liegt daher klar auf der Hand, daß bei einer solchen Anordnung, wie die vorliegende, wo Bogenstellungen mit ihren Pfeilern auf untere Bögen aufgesetzt sind, der Schub dieser letztern bedeutend vermehrt wird. Es ist aber auch gleichzeitig nicht zu verkennen, daß durch eine größere Anzahl Bögen in den obern Bogenstellungen der Horizontalschub in diesen bedeutend vermindert wird; allein dieser Vortheil ist zu gering gegen den großen Nachtheil der dadurch bei der untern Bogenstellung hervorgebracht wird. Man denke sich nun ferner noch eine über die Brücke fortschreitende Last, wie z. B. einen Wagenzug, so wird dieser jedenfalls eine Erschütterung hervorbringen, die um so stärker wird, je schneller sich der Zug bewegt. Hierdurch wird nun nicht allein noch die anfängliche Last vergrößert, sondern es wird auch die Erschütterung auf die untere Bogenstellung fortgepflanzt und diese dadurch ebenfalls in Bewegung gebracht. Die hierdurch entstehende Wirkung ist nun zwar unberechenbar, allein mit Sicherheit ist anzunehmen, daß dieselbe für das Bauwerk selbst vom größten Nachtheil ist. Es ist diese Form daher durchaus nicht zu empfehlen.

Liegt nun dennoch die Nothwendigkeit vor, auf einen Rundbogen überstehende Lasten mittelst Pfeilern zu stützen und diese entfernt von einander setzen zu müssen, welche Nothwendigkeit aber nur aus einer Ersparung an Material herzuleiten wäre, so wird die schädliche Wirkung auf jenen, die aus der stellenweisen großen Belastung entspringt, sehr gemindert, wenn man die Pfeiler nicht frei auf die Uebermauerung des tragenden Rundbogens aufsetzt, sondern wenn man sie durch Contrebögen verbindet, wie in Figur 614 näher angedeutet ist. Durch die Anordnung dieser Contrebögen, zumal wenn sie dicht geschlossen sind, erreicht man, daß sich die Pfeilerbelastung gleichmäßiger über den unterliegenden Bogen verbreitet und dadurch eine Zerdrückung desselben weniger zuläßt.

Eine andere Form über einander stehender Bogenstellungen mit wachsender Pfeilerzahl ist die in Figur 615 dargestellte, deren Bögen Spitzbögen sind. Wenngleich nun ein Spitzbogen eine noch viel größere Last als die, welche derselbe als kleinste Scheitelbelastung bedarf, zu tragen fähig ist, sobald dessen Material nur eine genügende Festigkeit hat und derselbe nach horizontaler Richtung nicht ausweichen kann, so läßt sich daraus doch noch keineswegs folgern, daß ein solcher auch im Stande sei, den durch darüber fortschreitende Lasten entstehenden Erschütterungen, die sich durch die obern Pfeilerstellungen den untern Bögen nothwendig mittheilen müssen, widerstehen zu können. So nachtheilig diese nun bei den Rundbögen wirken, eben so nachtheilig wirken sie auch bei den Spitzbögen. Diese Erschütterungen bringen, in Verbindung mit der so bedeutenden Last, welche auf den Bogen drückt, unbedingt ein Zermalmen und Zerreiben der einzelnen Steine hervor, und wird somit nach und nach der Ruin des Bauwerks vorbereitet.

Es ist daher immer zu widerrathen, auf Rund- oder Spitzbögen die Pfeiler einer andern Bogenstellung aufzusetzen und zwar dies um so mehr, je stärker die letztern lasten.

Weit zweckmäßiger ist die zweite Form, wo die Pfeiler bis zu den eigentlichen Tragbögen aufgehen und in ihrer ganzen Höhe durch mehrere eingesetzte Spannbögen in Etagen abgetheilt sind. Durch die Anordnungen solcher Spannbögen soll hauptsächlich eine gegenseitige Stützung der Pfeiler gegen Ausbiegung nach der Längenrichtung der Brücke bezweckt werden und wird dieser Zweck auch in der That erreicht. Es läßt sich nun zwar gegen diese Anordnung Manches einwenden, als namentlich, wenn ein Bogen einer höhern Etage bricht, derselbe dann in seinem Falle auch die unterliegenden Bögen zertrümmern wird. Die hierdurch entstehende Erschütterung würde nun jedenfalls nachtheilig auf den übrigen Theil des Bauwerks einwirken und gar einen weitern Einsturz hervorrufen, sobald die einzelnen Pfeiler so geringe aufgeführt sind, daß sie der Wirkung des einseitigen Schubes der anliegenden Bögen nicht zu widerstehen im Stande sind; denn es wird dann offenbar der einseitige Horizontalschub aller dieser Bögen gegen die auf der einen Seite nicht mehr gestützten Pfeiler bedeutend größer als der Schub des obersten Bogens allein. Erhält aber eine solche Ueberbrückung eine bedeutende Höhe, so müssen schon an und für sich die Pfeiler eine sehr bedeutende Stärke erhalten, um die erforderliche Stabilität derselben hervorzubringen. Allein bei aller Stabi-

lität, die man einem solchen Pfeiler giebt, entsteht doch die Frage, ob ein solcher Pfeiler, wenn keine Spannbögen angeordnet sind, bei überschreitenden Lasten nicht durch die dadurch entstehende Erschütterung ebenfalls in Bewegung gebracht wird. Man kann dies wohl nicht unbedingt in Abrede stellen, denn, wenngleich die übergehende Last im Vergleich zu derjenigen der Brücke geringe zu nennen ist, so ist hingegen die Schnelligkeit, mit welcher die Last über die Brücke fortbewegt wird, sehr zu berücksichtigen. Würde eine solche Brücke nur als Chausseebrücke dienen sollen, so daß also nie so bedeutende Lasten in einem Zuge und mit großer Geschwindigkeit darüber geführt würden, so möchte die Anordnung mit ganz heraufgehenden Pfeilern ohne dazwischen eingesetzte Spannbögen vor dem Etagenbau wegen der größern Billigkeit vorzuziehen sein. Dagegen ist es bei Eisenbahnen, wo nicht selten lange Wagenzüge im Vergleich zu Lastfuhrwerken mit sehr großer Geschwindigkeit sich darüber fortbewegen, doch jedenfalls zweckmäßiger, den einzelnen Pfeilern durch die eingesetzten Spannbögen mehr Steifigkeit zu geben. Wollte man den einzelnen Pfeilern nur eine solche Stärke geben, daß sie erst durch die eingesetzten Spannbögen Steifigkeit erhielten, so würde dies jedenfalls unangemessen sein; es ist aber angemessener und sogar nothwendig, daß man den Pfeilern eine solche Stärke giebt, daß sie nothdürftig für sich allein bestehen könnten und durch die Anordnung der Spannbögen erhalten sie dann vollkommen Steifigkeit, um allen Einwirkungen widerstehen zu können.

Um das Niederbrechen der Spannbögen zu verhindern, welches jedenfalls für die Existenz des Bauwerks im höchsten Grade nachtheilig werden kann, so muß man denselben nicht allein eine vollkommen hinreichende Stärke geben, damit sie sich unter allen Umständen erhalten können, sondern man muß den Bögen auch eine größere Pfeilhöhe geben, damit wenn einer oder mehrere Bögen einstürzen sollten, der Horizontalschub nicht noch vergrößert werde. Dieses letztere würde namentlich bei dem in Figur 516 dargestellten Vorschlage zur Ueberbrückung des Göltzschthales der Fall gewesen sein, indem hier die einzelnen Bögen zu flach sind und dadurch einen sehr bedeutenden Horizontalschub gegen die Pfeiler ausüben.

In den Figuren 617 ist die Göltzschthal-Ueberbrückung dargestellt. Dieselbe ist in ihrer größten Höhe gleich 139 Ellen und ihre ganze Länge beträgt 1023 Ellen. Dieser Viaduct enthält eine Etage und sind die Pfeiler nur in den untern Theilen von Quadermauerwerk, dagegen in den obern größtentheils von Ziegelsteinen ausgeführt. Die Spannbögen sind ebenfalls von Ziegelsteinen hergestellt, dagegen die Tragbögen, so wie auch die Gesimse von Quadersteinen. Die tiefste Stelle der Thalsohle ist mit einem Bogen von 45 Ellen Spannweite, welcher die Höhe zweier Bogenstellungen einnimmt, überspannt worden. Diese Unterbrechung der Bogenreihe wurde durch die ungewöhnliche Schwierigkeit der Fundirung der bei einer gleichmäßigen Eintheilung der Bogenstellung an die tiefste Stelle des Thals treffenden Pfeiler nothwendig. Diese Anordnung brachte aber auch eine ähnliche für die dritte und vierte Etage mit sich, bei welcher man jedoch dem durchreichenden Bogen eine Spannweite von 50 Ellen gegeben hat.

Die untere Bogenstellung wird aus 8 Bogen von je $18^3/_4$ Ellen und 2 Bogen von $11^1/_2$ Ellen Spannweite gebildet, welche letztere unmittelbar zunächst des großen Bogens sind. Die Pfeiler für die $18^3/_4$ Ellen weiten Bögen sind $8^1/_2$ Ellen dick und 33 Ellen breit; die den großen Bogen begrenzenden Doppelpfeiler sind 12 Ellen dick. Diese Bogenstellung ist an den tiefsten Punkten des Thales $36^1/_2$ Ellen hoch. Die zweite Höhe des Viaducts besteht aus einer Bogenreihe von 14 Bogen zu 20 Ellen und 2 Bogen von $11^1/_2$ Ellen Spannweite. Die Pfeiler für die Bögen von 20 Ellen Spannung sind 7 Ellen dick und $25^1/_2$ Ellen breit. Die Höhe der Bogenstellung beträgt 32 Ellen. Die dritte Etage zählt 21 Bogen von $21^1/_2$ Ellen und 2 Bogen von $10^1/_2$ Ellen Spannweite und ist $27^3/_4$ Ellen hoch. Die Pfeiler für die Bogen von $21^1/_2$ Ellen Spannung sind 6 Ellen dick und 18 Ellen breit; die den großen Bogen begrenzenden Doppelpfeiler sind $10^1/_2$ Ellen dick. Endlich sind in der obersten und vierten Bogenreihe im Ganzen 26 Bogen mit $22^1/_2$ Ellen und 2 Bogen mit 12 Ellen Spannung angebracht. Die Pfeiler für die $22^1/_2$ Ellen weiten Bögen sind 5 Ellen dick. Im Querschnitt ist der untersten Etage die größte Breite gegeben, jede der nächst höhern zieht sich gegen die vorhergehende stufenartig zurück, so zwar, daß die oberste Bogenreihe noch die nöthige Breite für zwei Geleise darbietet.

An beiden Enden desselben schließen sich die ziemlich bedeutend hohen aufgeworfenen Eisenbahndämme an, und es entsteht hier die Frage, ob es nicht eben so zweckmäßig gewesen sein würde, wenn man die Brücke an beiden Enden noch weiter geführt hätte, um so dem sehr bedeutenden Erddrucke mehr vorzubeugen. Hierdurch wären die Kosten jedenfalls nicht unbedeutend vergrößert worden, allein es wäre auch dadurch der Erddruck beseitigt, der doch mit der Zeit immer noch sehr nachtheilig auf die Endpfeiler einwirken kann.

Die zu den mittlern Bogen gehörigen Pfeiler, welche das ganze Bauwerk abtheilen, sind hier mit schmälern Oeffnungen durchbrochen, und dadurch eine bedeutende Materialersparniß herbeigeführt, ohne aber dieselben dadurch zu schwächen, sondern haben dieselben eine solche Stärke, daß sie dem Horizontalschube der beiden Bögen für sich allein schon vollständigen Widerstand leisten können.

Der in den Figuren 524 dargestellte Viaduct der Durham-Junction-Eisenbahn über das Thal der Wear besteht aus einzelnen Pfeilern, die oben durch Tragbögen mit einander verbunden sind. Daß hierbei die Bogenstellungen der Widerlager in Hinsicht des Erddruckes zu schwach ausgeführt sind und die einzelnen Pfeiler derselben ausgewichen und durch später ausgeführte Spannmauern zwischen denselben, erhalten werden mußten, ist schon weiter oben angeführt. Die Mittelpfeiler dieses Viaducts sind bis zum Bogenanfange mit hohlen Räumen aufgeführt, wodurch unbeschadet der Festigkeit derselben jedenfalls nicht unbedeutend an Material gespart worden ist. Bei diesem Viaducte, dessen Bögen von verschiedenen Spannweiten sind und welche 160 Fuß, 145 Fuß, 110 Fuß und 100 Fuß betragen, wäre es jedenfalls unzweckmäßig gewesen, den Etagenbau in Anwendung zu bringen. Man hätte dann bei dieser großen Spannweite auch die Pfeiler bedeutend stärker machen müssen, wodurch

aber in jeglicher Hinsicht ein bedeutend größerer Kostenaufwand erforderlich gewesen sein würde.

Der in den Figuren 566—570 dargestellte Goelviaduct bei Aachen hat ebenfalls wieder eine doppelte Bogenstellung. Derselbe hat eine Länge von 658 Fuß, eine Breite von 27 Fuß und eine Höhe von 117 Fuß rheinl. Er ist von Backsteinen erbaut und besteht im obern Stockwerke aus 17 Bogen von $30\frac{1}{2}$ Fuß Weite, die auf 14 Pfeilern von 7 Fuß und 2 Pfeilern von 18 Fuß Stärke ruhen.

Um ein möglicher Weise entstehendes Abrutschen der Pfeiler zu verhindern, sind außer den Spannbögen die Pfeiler noch soweit sie im Grunde stecken mit Contrebögen versehen, wie dies in Figur 566 angedeutet ist. Diese Contrebögen erfüllen hier aber auch gleichzeitig den Zweck, eine ungleichmäßige Senkung der Pfeiler möglichst zu verhindern, indem dadurch der Druck jedenfalls auf eine größere Fläche vertheilt wird. Uebrigens hätte man diesen Zweck auch durch eine größere Breite der Pfeilerfundamente erreichen können, wodurch dann auch gleichzeitig dieselben mehr widerstandsfähig gegen den einseitigen Erdschub geworden wären.

In den Figuren 618 ist die Elsterthal-Ueberbrückung in der Ansicht und im Querschnitt dargestellt. Dieselbe besteht aus 6 großen Tragbögen, deren Spannweite 50 Ellen beträgt. In der größten Tiefe des Thals sind noch in zwei Zwischenweiten Spannbögen angeordnet; im Uebrigen sind die Zwischenweiten, so weit es erforderlich war, auf den Bergabhängen mit Bruchsteinmauerwerk ausgefüllt. Der größte Theil des Mauerwerks besteht aus Ziegelmauerwerk. Die Tragbögen sind von Sandstein, dagegen die untern Spannbögen von Ziegelsteinen. Die ganze Länge dieses Viaducts beträgt 480 Ellen und die größte Höhe 120 Ellen (240 Fuß).

In Figur 619 ist der Aquaduct Roquefavour der Wasserleitung von der Durance nach Marseille dargestellt. Derselbe besteht aus einer doppelten Bogenstellung und darüber befindet sich noch eine dritte, die aber aus bedeutend kleinern Bögen besteht.

Oben haben wir über die Anordnung mit wachsender Pfeilerzahl schon das Nöthige angeführt. Diese Anordnung ist in diesem Falle aber in sofern zu rechtfertigen, weil bei Wasserleitungsbrücken die Bogen derselben durch die unmittelbare Einwirkung des Wassers mehr oder weniger leiden und namentlich dann, wenn das frei und langsam fließende Wasser in Eis umgesetzt wird. Wird dann das Wasser von einem Bau getragen, der als ein selbstständiger Aufsatz auf dem eigentlichen Brückenkörper besteht und mit seinen Pfeilern auf den größern unterliegenden Bögen und Pfeilern fundirt ist, so wird der Hauptbrückenkörper nicht beschädigt, wenn auch jener einer allmäligen Zerstörung unterliegt. Es ist daher in diesem Falle die Anordnung mit wachsender Pfeilerzahl und kleinern Bogenstellungen zu rechtfertigen; bei Viaducten dagegen würde eine solche Anordnung nicht zu empfehlen sein und zwar aus den oben angeführten Gründen.

Die beiden Thalüberbrückungen (s. Figur 617 und 618) der sächsisch-baierischen Staatseisenbahn sind unstreitig wohl die größten und höchsten Viaducte, welche in neuerer Zeit aufgeführt sind. Bei beiden finden wir die

Anwendung der Spannbögen in den untern Etagen des Bauwerks; aber nicht allein bei diesen, sondern auch noch bei mehrern andern größern Thalüberbrückungen finden wir gleichfalls die Spannbögen angewendet. Es geht daraus deutlich die Zweckmäßigkeit der Anordnung der Spannbögen hervor; die Nothwendigkeit derselben läßt sich nun zwar daraus nicht ableiten, allein denken wir uns einen solchen Viaduct, wie denjenigen über das Gölzschthal mit durchgehenden Pfeilern und einfacher Bogenstellung, so ist es ganz natürlich, daß die Pfeiler, sollen sie den durch die Erschütterung der darüber fahrenden Lasten entstehenden Schwankungen vorbeugen und Widerstand leisten, schon eine sehr bedeutende Breite erhalten müssen; ferner aber dürfen die Bögen auch keine sehr bedeutende Spannweite haben und müßten auch bedeutend überhöht sein, um möglichst wenig Anlaß zu Schwankungen zu geben. Aber dennoch würden diese bei der großen Höhe der Pfeiler nicht zu vermeiden sein und der baldige Ruin des Bauwerks würde jedenfalls durch diesen Umstand herbeigeführt werden. Ohne allen Zweifel würde man die Spannbögen ganz entbehren können, wenn man den Horizontalschub des obersten Tragbogens aufheben könnte, so daß nur noch der von der Last des Tragbogens herrührende Verticaldruck auf die Pfeiler wirkte. Allein dies ist nicht möglich und würde man nur durch bedeutende Ueberhöhung des Tragbogens im Stande sein, dessen Horizontalschub zu vermindern.

Was nun ferner bei diesem Etagenbau vermieden werden muß, ist wie schon oben angeführt wurde, die Anlage zu flacher Spannbögen, indem diese einmal einen zu bedeutenden Horizontalschub ausüben, und sodann zum Einstürzen weit eher geneigt sind, als solche Bögen, die sich mehr dem Halbkreise nähern, indem bei jenen die rückwirkende Festigkeit der verwendeten Materialien weit stärker in Anspruch genommen und daher in Folge der jedenfalls stattfindenden Erschütterung beim Uebergehen eines Zuges ein Zermalmen und Zerreiben der einzelnen Steine, wenn auch nur sehr langsam, hervorgerufen wird.

Ein Vortheil indeß, den der Etagenbau, so wie die Anwendung von Spannbögen für die Pfeiler hoher Brücken außerdem noch gewährt, ist der, daß sich bei beiden Anordnungen die Rüstungen für spätere Reparaturen leichter und billiger herstellen lassen. Dieser Vortheil ist zwar im Vergleich zu den Mehrosten, welche eine solche Anordnung verursacht, sehr gering und verdiente, wenn nur allein von diesem Vortheil die Rede wäre, durchaus keine Berücksichtigung, indem man von vorn herein auf eine viel einfachere Weise die Anordnungen treffen könnte, um später eine leichte Berüstung der Pfeiler herzustellen, und zwar durch Einmauern starker eiserner Haken, auf welche dann später die Rüstbretter gelegt werden könnten. Allein unter den obwaltenden Umständen ist, da die Spannbögen jeder Etage zugänglich sind und somit jederzeit eine Untersuchung des Bauwerks in allen seinen Theilen vorgenommen werden kann, der durch diese Anordnung gleichzeitig mit erlangte Vortheil einer leichtern Berüstung bedeutend genug, um erwähnt zu werden.

Druck von A. C. Cato in Meißen.

Müller, Hinrich,

Die Brückenbaukunde in ihrem ganzen Umfange ein Handbuch für Ingenieure und Baumeister

Bd.: 3

Leipzig [1852]